

SÉRIE A, N° 689.

N° D'ORDRE :

1446.

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES

DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ES SCIENCES PHYSIQUES.

PAR

M. E. HENRIOT.

1^{re} THÈSE. — ÉTUDE DES RAYONS ÉMIS PAR LES MÉTAUX ALCALINS.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le 20 avril 1912, devant la Commission d'Examen.

M^{me} CURIE,

Président.

MM. J. PERRIN,

G. URBAIN,

Examinateurs.

PARIS.

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE

DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,

Quai des Grands-Augustins, 55.

1912

THESES

A LA FACULTE DES SCIENCES

DE L'UNIVERSITE DE LYON

PAR

LE DOCTEUR EN SCIENCES

M. E. FERNET

DE THESE : *Sur la détermination des constantes thermodynamiques des gaz*

Présentée et soutenue publiquement le 10 Mars 1904

M. L. FERNET
M. J. FERNET
M. E. FERNET

1904

PARIS

IMPRIMERIE DE LA FACULTE DES SCIENCES

DE L'UNIVERSITE DE LYON

1904

RIE A, N° 689.

° D'ORDRE :

1446.

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES

DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES,

PAR

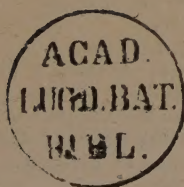
M. E. HENRIOT.

1^{re} THÈSE. — ÉTUDE DES RAYONS ÉMIS PAR LES MÉTAUX ALCALINS.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le *10 avril* 1912, devant la Commission d'Examen.

M^{me} CURIE, *Président.*
MM. J. PERRIN, *Examineurs.*
G. URBAIN, }



PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE
DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,
Quai des Grands-Augustins, 55.

1912

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS.

	MM.	
Doyen.....	P. APPELL, Professeur..	Mécanique rationnelle.
Doyen honoraire.....	G. DARBOUX.....	Géométrie supérieure.
Professeurs honoraires.	CH. WOLF.	
	J. RIBAN.	
	LIPPMANN.....	Physique.
	BOUTY.....	Physique.
	BOUSSINESQ.....	Physique mathématique et Calcul des probabilités.
	PICARD.....	Analyse supérieure et Algèbre sup.
	H. POINCARÉ.....	Astronomie mathématique et Mécanique céleste.
	Y. DELAGE.....	Zoologie, Anatomie, Physiol. compar.
	G. BONNIER.....	Botanique.
	DASTRE.....	Physiologie.
Professeurs.....	KÖNIGS.....	Mécanique phys. et expérimentale.
	VÉLAIN.....	Géographie physique.
	GOURSAT.....	Calcul différentiel et Calcul intégral.
	CHATIN.....	Histologie.
	HALLER.....	Chimie organique.
	JOANNIS.....	Chimie (Enseignement P. C. N.).
	JANET.....	Physique (Enseignement P. C. N.).
	WALLERANT.....	Minéralogie.
	ANDOYER.....	Astronomie physique.
	PAINLEVÉ.....	Mathématiques générales.
	HAUG.....	Géologie.
	HOUSSAY.....	Zoologie.
	H. LE CHATELIER.....	Chimie.
	Gabriel BERTRAND.....	Chimie biologique.
	M ^{me} P. CURIE.....	Physique générale.
	CAULLERY.....	Zool. (Évolution des êtres organisés).
	C. CHABRIÉ.....	Chimie appliquée.
	G. URBAIN.....	Chimie.
	BOREL.....	Théorie des fonctions.
	MARCHIS.....	Aviation.
	Jean PERRIN.....	Chimie physique.
	G. PRUVOT.....	Zoologie, Anatomie, Physiologie comparée.
	N.....	Applicat. de l'Analyse à la Géométrie.
	N.....	Calcul différentiel et Calcul intégral.
Professeurs adjoints...	PUISEUX.....	Mécanique et Astronomie.
	LEDUC.....	Physique.
	MATRUCHOT.....	Botanique.
	MICHEL.....	Minéralogie.
	HÉROUARD.....	Zoologie.
	Léon BERTRAND.....	Géologie.
	Rémy PERRIER.....	Zoologie (Enseignement P. C. N.).
	MOLLIARD.....	Physiologie végétale.
	COTTON.....	Physique.
Secrétaire.....	D. TOMBECK.	

A

MADAME CURIE,

PROFESSEUR A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS,

Témoignage de respectueuse gratitude.

A

MONSIEUR ABRAHAM,

DIRECTEUR DU LABORATOIRE DE PHYSIQUE DE L'ÉCOLE NORMALE.

Hommage respectueux et reconnaissant.

PREMIÈRE THÈSE.

ÉTUDE

DES

RAYONS ÉMIS PAR LES MÉTAUX ALCALINS

INTRODUCTION.

Les métaux alcalins font actuellement l'objet de travaux scientifiques très nombreux; les recherches de ces dernières années ont porté principalement sur l'extrême facilité avec laquelle ces métaux émettent des électrons sous l'influence de la lumière et de la chaleur (effet Hertz et effet Richardson). Cette émission disparaît presque entièrement quand on passe des métaux aux sels, et elle a toujours le caractère d'un rayonnement à faible vitesse : elle ne produit pas, à proprement parler, l'ionisation du gaz qu'elle rencontre et elle se trouve arrêtée par les écrans les plus minces.

Il existe un autre mode de rayonnement, signalé pour la première fois par N. Campbell; il possède un pouvoir ionisant, une pénétration assez considérable et il est émis à des degrés divers par tous les sels de potassium et de rubidium. Peut-être d'ailleurs cette propriété est-elle commune aux autres métaux alcalins, mais l'imperfection des moyens dont on dispose actuellement n'a pas encore permis cette généralisation.

L'existence même de ce rayonnement et ses propriétés ont donné lieu, dès le début, à des controverses assez

nombreuses; les différents auteurs employaient des techniques électrométriques différentes ou faisaient uniquement des radiographies. Au moment où j'ai débuté dans cette voie, il n'existait que deux Mémoires sur la question : l'un, de N. Campbell, affirmant que ce rayonnement est une propriété normale; l'autre, de Mac Lennan, soutenant que, pour un sel donné, le phénomène dépend de l'origine du sel et des fractionnements qu'il a subis. Il m'a paru qu'il ne serait pas inutile de faire l'étude détaillée de ces nouveaux rayons.

Ces expériences mettent en œuvre une technique assez délicate et assez minutieuse; certaines d'entre elles m'ont demandé beaucoup de patience. Je montrerai dans le cours du travail quelles sont les raisons qui ont causé les divergences d'opinions du début; actuellement, sauf sur certains points de détail, tous les auteurs qui se sont occupés de ce phénomène sont, je crois, tombés d'accord.

Je n'ai pas la prétention d'avoir épuisé la question : certains points sont encore assez obscurs, certaines mesures seraient susceptibles de plus de précision; je crois cependant que les caractères principaux sont acquis.

Le rayonnement des sels de potassium et de rubidium possède les conditions habituellement requises pour classer les corps dans les substances radioactives. S'ensuit-il que nous devons parler de la radioactivité des métaux alcalins? La réponse est affirmative si nous nous interdisons de faire aucune hypothèse sur la radioactivité et si nous nous contentons, pour la définir, du double caractère d'atomicité et de spontanéité. Si, au contraire, nous admettons que le terme de radioactivité implique désintégration atomique, nous n'avons pas de raison expérimentale de dire que les métaux alcalins sont radioactifs.

Je crois, par contre, qu'il est indispensable, comme dans le cas des métaux fortement radioactifs, d'admettre que ce phénomène est lié à une évolution atomique. Si nous

admettons ce point, et si nous comparons entre elles les séries de métaux alcalins et alcalino-terreux, nous pouvons résumer les faits par le schéma suivant :

<i>Alcalino-terreux...</i>		Ba (inactif)	Ra (actif)
<i>Alcalins.</i>	K (rayons à grande vitesse)	Rb (rayons à faible vitesse)	Cs (inactif)

Dans les alcalino-terreux, le radium est seul actif. Cette activité est bien la conséquence de son poids atomique et non de sa structure alcalino-terreuse; en effet, au-dessus d'un certain poids atomique critique qui est celui du bismuth, toutes les substances sont actives, quelle que soit la famille chimique dans laquelle ils se rangent.

Dans la série alcalino-terreuse, un poids atomique élevé détermine donc la propriété d'émettre des rayons et de se désintégrer. Dans la série des métaux alcalins l'augmentation du poids de l'atome semble diminuer l'énergie avec laquelle les rayons sont émis. Il serait assez logique d'admettre dans ce cas un processus inverse de la désintégration : formation d'éléments plus lourds analogue à celle dont s'est servi M. Lockyer dans son *Inorganic Evolution*, pour expliquer la manière dont la composition des étoiles se complique à mesure qu'elles vieillissent.

Malgré le nombre de renseignements très grand que ces dernières années nous ont fourni sur la radioactivité et les questions connexes, il est impossible de faire, sans crainte d'une déception, d'hypothèses précises sur le mécanisme de ces phénomènes. C'est pour me garder de cet écueil que j'ai intitulé ce travail *Rayonnement* et non *Radioactivité des métaux alcalins*.

¹⁾ Néanmoins, au point de vue expérimental, le problème

se pose de la même manière. Je rappellerai donc sommairement, au début de cet exposé, les recherches qui ont été tentées *pour savoir si l'on doit considérer comme commune à tous les éléments la propriété radioactive*. Quoique les efforts faits par J.-J. Thomson, N. Campbell, Mac Lennan, et moi-même aient été assez considérables, je ne crois pas qu'on puisse à l'heure actuelle donner à cette question une réponse ferme. Les difficultés qu'on rencontre dans cette voie sont, en général, celles qui compliquent l'étude particulière des métaux alcalins; j'aurai l'occasion d'en parler avec quelques détails.

Le plan de ce travail était imposé par la logique; il est aussi presque exactement parallèle à l'ordre dans lequel mes expériences ont été effectuées. Il s'agit tout d'abord de montrer que le rayonnement d'un sel défini de potassium est une propriété *normale*.

Il faudra d'abord prendre, par exemple, des échantillons de sulfate de potasse et voir si la nature du rayonnement est la même dans tous; on arrivera à ce résultat par l'étude de la pénétration des rayons.

Il faudra ensuite montrer que la quantité des rayons est la même pour deux échantillons de sulfate quelle que soit leur origine. On fera subir aux sels des fractionnements prolongés et de nature aussi variée que possible. Les résultats montreront que le phénomène n'est pas dû à la contamination par une matière fortement radioactive telle que le radium, et que cette activité n'est pas amovible par les fractionnements, comme celle de l'uranium dont on peut séparer l'uranium X. Le fait que le rayonnement est une propriété normale ne suffit pas. Il faut montrer qu'on a affaire à un phénomène *atomique*. Chaque sel de fer possède d'une façon normale un coefficient magnétique déterminé et cependant le magnétisme des sels de fer n'est pas une propriété atomique.

On dit qu'un phénomène présente ce caractère lorsque

la grandeur qui le mesure, est la même quel que soit l'état de combinaison ou l'état physique du corps en question, et ne dépend uniquement que de la quantité du corps présente.

Dans le cas du radium, et des autres corps fortement radioactifs, lorsqu'on prendra toutes les combinaisons de ces corps, sous des états et des épaisseurs comparables, on trouvera donc que le rayonnement émis par les combinaisons est proportionnel à la teneur en métal actif. Ceci suppose naturellement que les corps qui lui sont combinés sont eux-mêmes inactifs. C'est bien le cas avec le radium, mais on pouvait craindre que dans le cas des substances émettant peu de rayons, comme les métaux alcalins, le résultat ne fût troublé par une radioactivité possible des corps combinés. En fait, cela ne se produit pas : l'activité avec le potassium et le rubidium est assez proportionnelle à la teneur.

En outre, la température, ne doit pas avoir d'influence. Ce critérium peut être très précieux pour établir l'atomicité d'un phénomène, mais il est nécessaire et non suffisant ; tel phénomène, l'effet Hertz-Hallwachs sur le zinc pourra être indépendant de la température sans qu'on en puisse conclure que le phénomène est atomique. Il faudrait pour que le résultat fût concluant dans ce cas qu'on pût faire varier la température du métal de quantités comparables à la température de la radiation ultraviolette produisant le phénomène. Néanmoins, ce critérium est trop important pour qu'on puisse le négliger : les principales propriétés atomiques de la matière (gravité, inertie, diamagnétisme) le présentent. J'ai donc tenu à le mettre en œuvre même dans l'intervalle restreint où la chose m'a été matériellement possible, parce que, même dans cet intervalle restreint, il y a peu de phénomènes moléculaires ou corpusculaires qui ne dépendent pas de la température. Il faut aussi s'assurer que la

nature du rayonnement ne change pas d'un sel à l'autre, et la chose a été controversée dans le cas du potassium.

Une question importante qui se pose, enfin, est la suivante : le rayonnement est-il *spontané*? Ne s'agit-il pas là simplement d'un effet secondaire dû à la lumière ou à une radiation pénétrante du genre de celle qu'on invoquait pour expliquer les phénomènes manifestés par le radium? La radiation pénétrante du sol et de l'atmosphère donne, dans une chambre fermée, des phénomènes d'ionisation, et un rayonnement secondaire des parois ressemblant aux phénomènes que nous étudions. J'ai abordé la question autant qu'il m'était possible, par un procédé direct, mais la preuve la plus convaincante est fournie par des expériences d'Elster et Geitel effectuées dans les mines de carnallite.

Les sels de cæsium, malgré la proche parenté de ce métal avec le potassium et le rubidium ont toujours été reconnus inactifs, sauf par Mac Lennan. Il en a été de même pour le sodium et le lithium. Si cette activité existe, elle a pu tomber au-dessous de la limite mesurable, pour plusieurs raisons. Si les électrons émis sont très rapides, ils ne donneront plus d'ionisation appréciable dans une chambre de dimensions acceptables; s'ils sont trop lents, ils ne donneront plus d'ionisation et ne pourront plus être décelés que par leurs charges propres. Même dans cette voie, je n'ai rien pu obtenir.

Une expérience de J.-J. Thomson se rattache assez étroitement aux faits qui précèdent.

D'après cet auteur, le rubidium et l'alliage liquide NaK, dont la sensibilité photo-électrique est bien connue, garderaient, même dans l'obscurité totale, la propriété d'émettre des charges négatives. Cette expérience étant antérieure à celles de N. Campbell, J.-J. Thomson a souvent été cité comme l'inventeur de la radioactivité des métaux alcalins. D'autres physiciens ont attribué

ce dernier fait à un effet Richardson très faible subsistant encore à la température ordinaire. Le fait est que le phénomène est complexe, fort petit, et qu'il semble lié à un effet de surface.

Je ne pense pas que les résultats publiés sur cette question du rayonnement des métaux alcalins soient un argument en faveur de la radioactivité générale des éléments.

Il serait cependant à désirer que de telles études fussent poursuivies; mais il est peu probable, qu'à moins de trouver des procédés d'investigation d'un autre genre, les résultats relatifs aux corps fortement radioactifs, et aux métaux alcalins soient près de se généraliser. Il me semble qu'un perfectionnement dans la technique électrométrique serait insuffisant pour remplir ce but : on est arrêté par des effets parasites assez considérables pour masquer les phénomènes importants. Le radium qui se trouve disséminé partout ne donne pas de perturbations gênantes dans l'étude du potassium et du rubidium. L'ionisation spontanée de l'air, par contre, constitue une difficulté assez grande; elle donne un terme correctif notable dans le cas qui nous occupe; si les phénomènes de rayonnement deviennent beaucoup plus petits, elle les masquera complètement : on sera dans la situation d'un physicien qui voudrait étudier les propriétés diamagnétiques des corps avec les appareils souillés de fer métallique. Il est d'autre part difficile, dans la plupart des cas, de diminuer cette ionisation spontanée. Reste l'émission de charges dans le vide : les expériences deviennent très minutieuses et les courants qu'on doit mesurer tombent généralement au-dessous des valeurs qu'on peut espérer apprécier avec les techniques que nous possédons.

L'exposé des résultats relatifs au rayonnement des métaux alcalins comprendra quatre Parties :

I. La première Partie sera employée à résumer *très rapidement* les tentatives faites dans le domaine de la radioactivité, envisagée comme propriété générale des éléments. J'y joindrai, avec quelques détails, la description des méthodes que j'ai employées dans l'étude de cette question, et dans le cas des métaux alcalins;

II. Dans la deuxième Partie, j'étudierai spécialement les courants d'ionisation produits par le potassium (essais de fractionnement, nature des rayons, etc.);

III. La troisième Partie aura pour objet une étude parallèle à la précédente effectuée sur les sels du rubidium;

IV. Étude des sels et des métaux dans le vide. Phénomène de J.-J. Thomson.

Ce travail a été effectué au laboratoire de Physique de l'École Normale supérieure.

Je tiens à exprimer à MM. Abraham et Cotton, mes maîtres de l'École Normale, mes remerciements respectueux pour m'avoir encouragé et guidé de leurs conseils. J'ai acquis, dans mon séjour au laboratoire de M^{me} Curie, la plus grande partie de la technique que j'ai mise en œuvre dans ce travail. Je lui exprime ma respectueuse reconnaissance pour les conseils et les encouragements qu'elle a bien voulu me donner au cours de sa réalisation.

Les conversations que j'ai eues avec M. Debierne m'ont été très utiles : je tiens à lui exprimer mes affectueux remerciements.

La longue série de fractionnements sur les sels de potassium a été effectuée avec la collaboration de M. G. Vavon et lui a demandé un travail considérable; j'aurais hésité à entreprendre seul cette partie de ma recherche; je lui en exprime toute ma reconnaissance pour son amicale collaboration.

PREMIÈRE PARTIE.

MÉTHODES D'INVESTIGATION, MESURE DES
FAIBLES COURANTS.

La recherche et l'étude des rayons d'une substance peut se faire par la méthode photographique, la méthode électrométrique et l'emploi d'écrans fluorescents.

Cette dernière méthode échoue complètement dans le cas qui nous occupe : les rayons β sont en trop petite quantité pour se manifester par la fluorescence. Seuls les rayons α seraient susceptibles de se déceler par des scintillations parce que chaque particule donne individuellement un effet appréciable. Il faudrait faire la numération des particules reçues par l'écran placé au voisinage de la substance qu'on étudie. Ce procédé ne donne rien de net.

La photographie qui peut permettre de totaliser les effets d'un rayonnement pendant un temps très considérable paraît plus indiquée. Elle donne de bons résultats avec les corps fortement radioactifs mais son emploi semble assez limité pour l'étude des corps faiblement actifs. Outre le caractère plutôt qualitatif des résultats, elle a l'inconvénient d'exiger de grandes précautions pour qu'on soit à l'abri des phénomènes pseudo-radioactifs. Le zinc et la plupart des métaux oxydables donnent au bout d'un certain temps de fortes impressions. L'eau oxygénée, l'ozone sont également des causes d'erreur. Néanmoins Levin et Ruer ⁽¹⁾ ont employé ce moyen d'investigation à la recherche de la radioactivité des substances ordinaires : il n'a d'ailleurs pas donné de résultats que la technique électrométrique n'ait fait prévoir.

(1) LEVIN et RUER, *Phys. Zeits.*, t. X, 1909, p. 576-579.

La mesure des courants d'ionisation reste donc malgré ses imperfections le meilleur procédé pour l'étude des faits de ce genre.

Étant donné que ce sont des phénomènes parasites qui limitent les recherches, il n'y a pas lieu d'augmenter indéfiniment la sensibilité des mesures : on mesure toujours quelque chose, l'important est de savoir à quoi correspond ce qu'on a mesuré. En fait, la sensibilité des électromètres qu'on a actuellement ne gagnerait pas beaucoup à être augmentée.

ISOLANTS. — Il est facile d'avoir des isolants qui tiennent d'une façon remarquable. Dans un électroscope chargé, même sous un haut voltage, la déperdition est presque uniquement due à l'air de l'appareil. Le soufre et le quartz sont d'excellents isolants; mais, en raison de la facilité de son emploi, j'ai employé, dans la plupart des cas, l'ambroïde du commerce qui a sur eux l'avantage de se travailler facilement, de ne pas donner lieu d'une façon appréciable à des phénomènes de pénétration de charges. Il n'est pas hygrométrique et il est inutile de dessécher les montages où on l'emploie. Dans tous les appareils que j'ai construits ou fait construire, l'ambre est facilement amovible. Il est monté dans une garniture de laiton : pour le nettoyer, je le portais sur le tour, et à l'aide d'un outil bien propre j'enlevais la surface. Il faut avant de monter l'isolant le désélectriser à plusieurs reprises en le plaçant au-dessus d'une flamme, et ne plus le toucher ni le frotter avec quoi que ce soit.

ÉLECTROMÈTRES. — L'appareil électrométrique à employer varie avec la capacité des appareils qu'on y relie et, comme on est près de la limite de sensibilité, le choix de l'appareil de mesure est imposé par la nature de la question qu'on se propose.

La sensibilité à la charge est égale au quotient de la sensibilité au potentiel par la capacité totale ⁽¹⁾ des appareils de mesure. Il faut donc, si l'on doit employer une forte capacité, prendre un appareil sensible au volt. Ce sera le cas, par exemple, où l'on désirera mesurer un courant en valeur absolue au moyen d'un appareil à coefficient d'influence connu, par la méthode de Moulin ⁽²⁾. On devra employer dans ce cas un électromètre. Les électromètres que j'ai employés avaient une sensibilité de 100^{mm} à 300^{mm} pour $\frac{1}{10}$ de volt. L'emploi de l'électromètre n'est pas sans présenter, pour la mesure des très petits courants, des difficultés et des inconvénients. Les tiges de connection, bien que convenablement protégées, et le volume assez considérable de l'électromètre font que la paire de quadrants isolée reçoit continuellement de petites quantités d'électricité (probablement à cause des ions de l'air qui diffusent sur l'organe isolé).

Ce petit courant dans les montages que j'ai réalisés est généralement négatif. Dans un montage convenable et de capacité moyenne, il n'est que d'une fraction de centimètre à l'heure (2^{mm} ou 3^{mm}). Si l'on joint à cela les déplacements de zéro, l'instabilité des appareils, les variations de la batterie de tension reliée à la chambre d'ionisation, on conçoit qu'il est difficile d'atteindre des courants dont la valeur ne donne pas au spot un déplacement au moins égal à 1^{cm} à l'heure. Supposons un appareil ayant une capacité de 100, une sensibilité au volt de 2^m par volt sur l'échelle, cette sensibilité extrême correspondra à

$$i = \frac{CV}{t} = \frac{1}{3600} \frac{1}{200.300} 100 \frac{1}{3.10^9} = 0,15.10^{-15} \text{ amp.}$$

Si la capacité jointe à l'appareil est petite, l'électro-

⁽¹⁾ Voir *Traité de radioactivité de M^{me} Curie*, t. I, p. 88.

⁽²⁾ MOULIN, *Le Radium*, t. IV, 1907, p. 190.

scope incliné de Wilson est à recommander; il permet d'apprécier des courants de cet ordre ⁽¹⁾. Cet appareil n'est pas non plus exempt d'inconvénients.

Il a d'assez fréquents déplacements de zéro. Les uns sont dus à des mouvements de convection de l'air qui se trouve dans la cage de l'électroscope. La preuve en est qu'on améliore beaucoup un instrument de ce genre en l'entourant de feutre et en arrêtant les rayons calorifiques de la lampe qui l'éclaire, par l'intermédiaire d'une cuve à eau. J'ai obtenu aussi de bons résultats en ce sens en me servant d'un électroscope où la cage était réduite à des dimensions très petites ($3^{\text{cm}} \times 2^{\text{cm}} \times 2^{\text{cm}}$) (fig. 1).

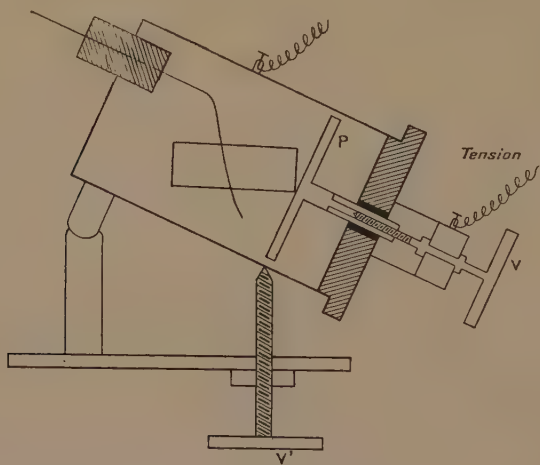


Fig. 1.

D'autres causes d'erreurs résultent de résidus dans la feuille : il faut prendre une feuille d'or et non d'aluminium, qu'on choisira avec soin, et qui, à l'état de repos, tombe bien verticale et rectiligne.

Enfin, une cause assez importante de déplacements de

(¹) C.-T.-R. WILSON, *Proc. Camb. Phil. Soc.*, 1903.

zéro consiste dans les variations du potentiel de la pile de charge reliée au plateau P. Il faudra donc mesurer à chaque lecture la sensibilité au volt dans la région qu'on utilise, pour s'assurer qu'elle ne varie pas : malgré toutes les causes de variations énumérées plus haut, on peut compter sur sa constance à 2 pour 100 dans l'intervalle d'une journée. Naturellement, si l'on veut comparer l'intensité de deux courants en faisant deux mesures se succédant immédiatement, on peut compter sur une précision meilleure. On peut, par exemple, vérifier l'égalité de deux courants, à 0,5 pour 100 près. Dans le modèle de C.-T.-R. Wilson ⁽¹⁾ le plateau est fixe ainsi que l'inclinaison ; on règle la sensibilité de l'appareil en faisant varier le voltage au plateau. Dans les modèles que j'ai fait construire, le plateau P peut recevoir un mouvement de translation au moyen d'une vis V. Le plateau étant assez près de la feuille, on constate, en agissant sur la vis V', que la feuille possède deux positions d'équilibre. On éloigne le plateau de la feuille jusqu'à ce que ces positions d'équilibre se rejoignent. A ce moment l'appareil est plus ou moins sensible suivant le soin avec lequel le réglage a été fait. On arrive assez facilement à obtenir une sensibilité au volt considérable et comparable à celle de l'électromètre. En observant avec un microscope du genre de celui qui est adapté à l'électroscope de Chéneveau et Laborde ⁽²⁾, on lui fera donner sans peine 20 ou 30 divisions du micromètre pour $\frac{1}{10}$ de volt. En fait, la sensibilité de 50 divisions par volt m'a toujours été suffisante. Cet appareil n'est pas très indiqué pour les méthodes de zéro. C'est, malgré tout, lorsqu'on en a pris l'habitude, un excellent instrument pour les mesures électrométriques ; il est très facile à construire soi-même, et son montage est

(1) C.-T.-R. WILSON, *Proc. Camb. Phil. Soc.*, 1903.

(2) CHÉNEVEAU et LABORDE, *Journal de Physique*, 1909.

simple. Pas plus que pour l'électromètre, je n'ai pu l'employer en faisant des mesures sur des temps très longs. La limite extrême des courants qu'il permet de mesurer avec sécurité est un peu plus grande qu'avec l'électromètre, mais du même ordre.

Au-dessous de cette limite, on peut mesurer des courants encore plus faibles à l'électroscope à feuille d'or ordinaire (*fig. 2*). On peut rendre la capacité de cet instru-

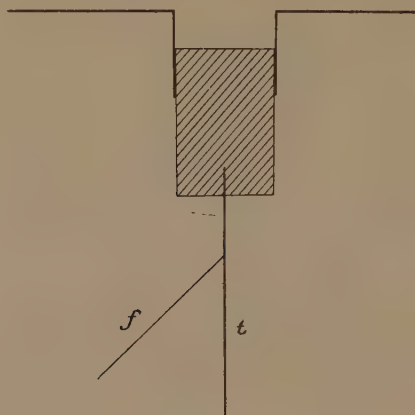


Fig. 2.

ment très petite, une demi-unité par exemple, ou même moins, et lorsqu'on veut mesurer des courants constants, laisser l'appareil se décharger pendant plusieurs heures ou même plusieurs jours. Si la monture métallique de l'isolant est reliée à la cage, il existe une différence de potentiel de plusieurs centaines de volts entre les deux extrémités de l'isolant. Malgré cette circonstance on arrive à avoir une déperdition par l'isolant tout à fait négligeable devant la déperdition par l'air.

Cette dernière qui est d'environ 10^{-15} ampères par litre, disparaît elle-même quand l'électroscope est placé dans un bon vide. Une précaution essentielle à prendre

est de maintenir constamment la feuille chargée à un voltage voisin de celui d'utilisation. Quand on charge un tel appareil pour la première fois, probablement par suite de phénomènes de pénétration de charges dans l'isolant, on constate un abaissement assez rapide de la feuille. Au bout d'une journée, ces perturbations du début ont pratiquement disparu.

J'ai essayé de l'artifice de l'anneau de garde, qui consiste à isoler la monture métallique qui porte l'ambre et à la maintenir constamment, au moyen d'une batterie d'accumulateurs, au voltage de charge de l'électroscope. Ce dispositif recommandé par quelques auteurs ne me paraît pas constituer un perfectionnement très notable et m'a donné beaucoup de mécomptes ; je l'ai abandonné complètement. L'électroscope simple permet de mesurer avec sécurité des courants qui, à l'électromètre, seraient inaccessibles ou douteux. Il a l'inconvénient de ne pas renseigner d'une manière précise sur la valeur du courant et de ne créer qu'un champ électrostatique insuffisant, dans un certain nombre de cas, pour assurer la saturation.

MÉTHODES DE COMPENSATION. — Dans le laboratoire de l'École Normale où je travaille, et qui n'a pas été contaminé par les émanations des corps fortement radioactifs, l'emploi d'une méthode de zéro est inutile. Néanmoins, désirant effectuer à plusieurs jours d'intervalle des mesures comparables entre elles, je me suis servi d'un appareil de compensation dont je vais dire un mot.

M. Lattès avait employé autrefois, dans un but semblable, un procédé qui consiste à relier à l'électromètre une armature d'un condensateur dont l'autre armature est portée à un voltage variable. Ce voltage était réalisé au moyen d'un potentiomètre spécial, et on lui donnait, à chaque instant, une valeur telle que le spot

fût maintenu au zéro. L'inverse du temps nécessaire pour passer du voltage nul au voltage maximum mesure la valeur du courant.

Ne possédant pas les appareils nécessaires, j'ai employé un condensateur déformable, mais dont les armatures sont maintenues à un potentiel fixe. Si γ_1 et γ_2 sont les valeurs extrêmes du coefficient d'influence, V le voltage fixe, la quantité d'électricité dégagée est

$$Q = V(\gamma_1 - \gamma_2).$$

Si t est le temps nécessaire à la déformation, on a pour le courant

$$i = \frac{V}{t} (\gamma_1 - \gamma_2).$$

Le montage d'un tel appareil est très facile à réaliser soi-même. Je vais décrire rapidement un de ceux qui m'ont servi (*fig. 3*).

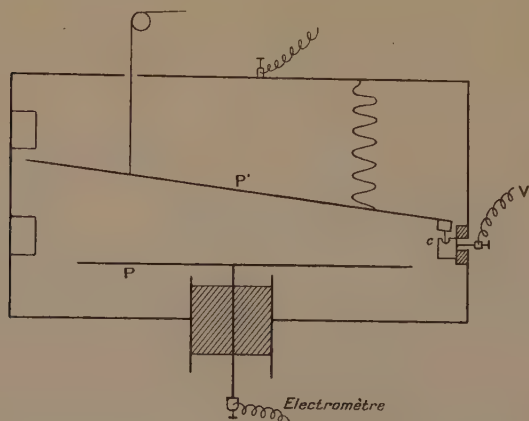


Fig. 3.

Dans une boîte en métal assez robuste, reliée à la cage de l'électromètre, on dispose un plateau P fixe, isolé à l'ambre et mis en communication avec la paire de qua-

drants isolée de l'électromètre. En face de celui-ci se trouve un plateau mobile, autour d'un axe, et dont la course est limitée par deux butoirs. Le mouvement de rotation sera réalisé, par exemple, par deux pointes mousses C posées au fond de petites cavités : on pourrait prendre deux couteaux de balance et une rainure. Le plateau P' est isolé, et maintenu à un voltage fixe. On laisse le spot dévier de quelques millimètres sous l'influence du courant qu'on veut mesurer, puis on commence à soulever le plateau P' en le tirant avec une ficelle en même temps qu'on met en marche le chronomètre; on ramène le spot au zéro, et on le maintient jusqu'à ce que, le plateau étant arrivé à bout de course, l'électromètre se remette à dévier. On arrête le chronomètre quand il repasse à la division d'où l'on était parti. Il faut s'assurer par une mesure préalable, que le plateau P' étant relié à la cage, le fait de le soulever ne donne aucun courant, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de force électromotrice de contact notable. Cet appareil, même construit avec des matériaux de fortune, donne de bons résultats. Il ne mesure pas les courants en valeur absolue et nécessiterait, si on l'employait pour cet usage, un étalonnage analogue à celui qu'on fait subir au quartz piézo-électrique. Il peut être réalisé avec une capacité aussi faible qu'on le voudra.

Dans d'autres cas, désirant faire des mesures de courant en valeur absolue avec une précision médiocre, j'ai fait construire un condensateur plan à anneau de garde dont on pouvait estimer à 0,5 pour 100 près la valeur par la mesure de ses dimensions géométriques (¹).

CHAMBRES D'IONISATION. — La nature de la substance dont est faite la chambre d'ionisation n'est pas indiffé-

(¹) Tous ces appareils et ceux qui seront décrits ont été exécutés au laboratoire, par M. Babel, que je tiens à remercier ici de la complaisance qu'il a mise à cette tâche.

rente. En effet, à partir du moment où la radiation qu'on veut mesurer devient très faible (comme c'est le cas pour les métaux alcalins), l'ionisation spontanée de l'air de la chambre prend une importance assez considérable : le fait que la nature de la paroi influe sur l'ionisation spontanée d'un espace clos est maintenant un fait bien connu. J'ai eu l'occasion d'employer des chambres d'ionisation de bien des substances différentes : ce sont les appareils de laiton ou de zinc qui m'ont donné la plus petite correction pour l'ionisation spontanée et qui paraissent donc devoir être recommandés dans les recherches de ce genre. Les boîtes en bois recouvertes de papier d'étain sont plus économiques et plus faciles à construire. Elles ont, en revanche, l'inconvénient de donner une conductibilité relativement élevée à l'air qu'elles contiennent. Il est facile de le voir par l'expérience suivante : si, dans une boîte de laiton, on fait, en prenant les précautions indiquées plus loin, une mesure du courant spontané dû à l'air et qu'on répète cette expérience en couvrant le fond d'une feuille d'étain, on remarque toujours une augmentation du courant. Dans un appareil de laiton que j'employais, l'introduction d'une telle feuille d'étain augmentait la conductibilité propre dans le rapport de 1 à 1,15. On pourra naturellement employer l'étain pour construire les chambres d'ionisation, mais il sera alors préférable d'employer le dispositif à deux chambres que je décrirai dans la suite et qui est destiné à éliminer l'effet de l'ionisation spontanée.

Les résultats obtenus par MM. N. Campbell, Strutt, Mac Lennan sur la conductivité propre de l'air dans les récipients fermés ont été résumés d'une façon excellente par M^{me} Curie dans son *Traité de Radioactivité*. Je renverrai donc le lecteur à cet Ouvrage et me contenterai d'exposer de ces travaux ce qui peut servir à la clarté de mon sujet.

Les charges qu'une électrode chargée recueille dans un récipient fermé dépendent, comme nous venons de le dire, de la nature des parois. Elles dépendent aussi à un très haut degré du volume. Si l'on place un électroscope constitué par une tige et une feuille d'or dans un petit récipient ($5^{\text{cm}} \times 5^{\text{cm}} \times 6^{\text{cm}}$) par exemple, la déperdition électrique sera extrêmement lente. Il sera encore chargé plusieurs semaines après le début de l'expérience. Si l'on avait placé un électroscope de même capacité dans un récipient d'assez grandes dimensions (60^{l} par exemple), quelques heures auraient suffi à le décharger complètement. Cette ionisation est de nature complexe, elle provient certainement en partie d'une cause d'origine extérieure. Même dans un récipient mastiqué soigneusement pour éviter que les fluctuations de la pression extérieure ne se fassent sentir, l'ionisation spontanée dans une boîte fermée subit des variations diurnes analogues à celles du gradient de potentiel atmosphérique ⁽¹⁾. Les différents auteurs qui ont étudié la question ont reconnu une action incontestable de certains phénomènes météorologiques (chutes de pluie, etc.). Ces actions sont attribuées par les physiciens à la radiation pénétrante produite par les émanations ou autres produits radioactifs contenus dans le sol ou dans l'atmosphère. Les rayons γ très pénétrants de ces substances doivent donner une ionisation en volume et des rayons secondaires à la paroi, qui dépendront naturellement de la nature de cette paroi. M. N. Campbell aurait trouvé que, outre ce phénomène secondaire, la paroi aurait une action spécifique spontanée, et il tire de ce fait un argument en faveur de la radioactivité générale des éléments ; malgré le soin extrême que ce

(1) J'ai eu l'occasion de monter avec M. Beauvais l'appareil pour l'inscription photographique des fluctuations du phénomène. Nous avons vu avec une grande netteté l'existence du maximum diurne et nocturne.

physicien a apporté à réaliser ces expériences, la complexité des phénomènes est encore telle qu'on peut hésiter à se former une opinion définitive.

Outre les variations diurnes de l'ionisation, des phénomènes accidentels peuvent intervenir. Lorsqu'on introduit de l'air frais dans la chambre, en l'ouvrant et en la refermant, l'air prend brusquement une conductibilité considérable qui va en s'atténuant. Les petits ions sont rapidement recueillis. Les gros ions, dont la mobilité est beaucoup plus faible, font durer la perturbation pendant très longtemps. La conductibilité, dans les appareils que j'employais, avait diminué de 4 à 1 environ, au bout de 15 minutes, lorsque l'air avait été totalement renouvelé. Le même phénomène se présente lorsqu'on établit le champ électrique dans la chambre d'ionisation maintenue fermée, mais sans tension, depuis quelques heures.

Il est utile de frotter de temps en temps au papier de verre la paroi des chambres métalliques ou de la nettoyer aux acides. J'évitais aussi, en général, de la porter à une tension négative, pour éviter d'y provoquer la chute de la radioactivité induite de la salle.

On peut espérer diminuer cette conductibilité propre de l'air en interceptant, au moyen d'écrans de plomb, la radiation venant de l'extérieur. Ceci est praticable avec des appareils de petites dimensions : pour protéger un petit électroscope ($5\text{ cm} \times 5\text{ cm} \times 6\text{ cm}$), j'ai fondu des briques de plomb dont le poids total est de 100 kg . Il est difficile de diminuer de 40 pour 100 l'ionisation par ce procédé. Il est, en tout cas, inapplicable aux récipients de grande dimension qui m'ont le plus souvent servi. Ce que je viens de dire suffit pour montrer que l'ionisation spontanée est un phénomène compliqué, et qu'il faut se montrer prudent quand on mesure des courants très faibles et du même ordre qu'elle. Cependant, dans le cas des métaux alcalins, elle n'intervient que comme une

correction assez faible. Cette correction doit être mesurée fréquemment au cours d'une série de mesures : malgré toutes ses variations, il est rare, en opérant avec les précautions que j'indiquerai plus loin, qu'elle varie de $\frac{1}{20}$ ou même de $\frac{1}{30}$ dans l'intervalle de plusieurs heures : c'est donc une grandeur assez bien connue.

Les rayons des métaux alcalins ne sont pas comme les rayons α arrêtés par quelques centimètres d'air ; il est bon de les utiliser complètement et de prendre une chambre d'ionisation haute ; comme d'autre part, le courant débité est faible, pour rendre la mesure facile, il faut répartir le sel rayonnant sur une grande surface. Je m'interdisais, en effet, dans la partie de ce travail relative aux courants d'ionisation produits par les sels alcalins, de mesurer, sauf à titre d'indication, des courants inférieurs à $0,5 \cdot 10^{-14}$ amp, c'est-à-dire qui ne fassent pas des courants notables électrométriquement. Une forme qui m'a paru

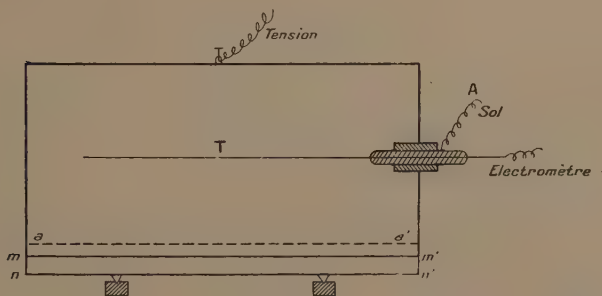


Fig. 4.

convenable, après plusieurs essais, est la suivante (fig. 4) :

Fond de la boîte.....	25 × 50
Hauteur.....	30

Le sel est disposé sur un plateau de zinc ou de laiton recouvrant tout le fond, ou seulement une partie. Dans

le premier modèle que j'employais, un des côtés était mobile autour d'une charnière et l'on pouvait l'ouvrir pour introduire ou enlever le sel. Ce dispositif est à rejeter parce qu'il a l'inconvénient de renouveler en grande partie l'air de la chambre et d'augmenter pendant assez longtemps la correction due au courant spontané. Il est préférable de ménager seulement une rainure de 1^{cm} ($mn, m'n'$) laissant juste passer le plateau et ses rebords. De cette façon, l'air est très peu renouvelé : on gagne beaucoup de temps et de précision. Si l'on ne désire pas étudier le rayonnement du sel indépendamment de tout écran, on éliminera complètement les effets du renouvellement de l'air en ménageant en aa à l'intérieur de la boîte et sur tout son pourtour un épaulement de 1^{cm} sur lequel on collera une feuille d'étain; cette dernière sera soutenue par de petits fils de laiton tendus d'une paroi à l'autre et assez espacés (2^{cm}). La boîte sera ainsi partagée en deux parties indépendantes, l'air ne se renouvellera pas dans la partie supérieure quand on introduira ou enlèvera la substance : on peut dans ce dispositif faire des mesures rapides, mais on s'interdit la recherche de rayons très absorbables qui pourraient exister.

Si, au lieu de feuilles d'étain, on emploie des feuilles d'aluminium très minces, on n'arrive pas à faire une fermeture suffisamment étanche pour éviter tous les inconvénients résultant de l'introduction d'air frais : il est préférable de les supprimer. La chambre repose par l'intermédiaire de petits cônes qui lui sont soudés sur des cales en ébonite creusées d'une cavité et qui sont destinées à l'isoler. L'organe collecteur des charges est une tige de laiton, ou un simple fil qui traverse la boîte dans le sens de sa grande dimension. Il est porté par un bouchon d'ambre qui est protégé lui-même par un anneau de garde isolé à l'ébonite. La boîte sera portée au voltage convenable par une batterie d'accumulateurs.

Plusieurs auteurs, et en particulier Crowther ⁽¹⁾ dans son travail sur la dispersion par la matière des rayons β de l'uranium, ont employé avec succès un dispositif destiné à compenser les effets de l'ionisation spontanée. Il consiste à accoupler à la chambre d'ionisation où se produit le phénomène étudié, une deuxième chambre, aussi identique que possible mais portée à un voltage égal et opposé. Cet artifice, qui fait penser naturellement au ballon-tare employé dans les mesures de densités des gaz, élimine l'ionisation spontanée et ses variations. J'ai été amené à l'employer sous la forme suivante : les deux chambres sont placées à la suite l'une de l'autre et traversées par la même tige collective des ions. Ces deux chambres sont en bois recouvert de papier d'étain, et elles sont contenues dans une troisième, également tapissée de feuilles d'étain et reliée au sol (*fig. 5*).

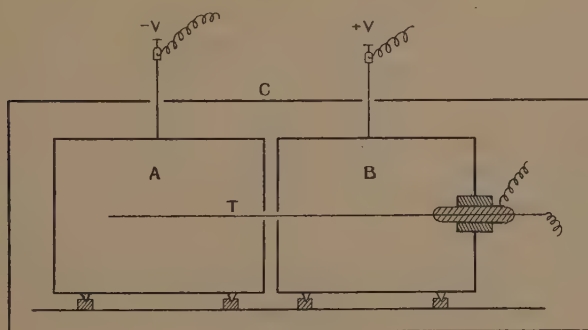


Fig. 5.

Cette boîte extérieure est destinée à protéger la boîte chargée négativement, d'une chute de radioactivité de l'air, qui détruirait la symétrie initiale en augmentant le courant spontané dans cette boîte. Elle joue encore un autre rôle : si, par suite des fluctuations de pression, de

(1) CROWTHER, *Le Radium*, 1908, p. 78.

l'air entre dans l'appareil, il sera privé de la plus grande partie de ses charges en passant dans le champ intense produit entre les boîtes A et B d'une part, et C d'autre part.

En chargeant A et B à des voltages opposés, on mesure un courant très petit, si on le compare au courant produit dans une boîte seule. Il n'est pas absolument nul et l'on doit, si l'on veut opérer avec soin, faire une correction même dans ce cas.

Ce dispositif ne m'a pas paru augmenter beaucoup la précision des mesures ; il a, de plus, l'inconvénient de nécessiter un montage de dimensions monumentales. Je l'ai employé de concurrence avec l'appareil que j'ai décrit plus haut.

Examen des substances communes au point de vue de la radioactivité. — L'examen des substances communes au point de vue de la radioactivité a été effectué pour la première fois par M^{me} Curie avec un dispositif expérimental qui lui permettait de déceler l'activité d'un corps ne possédant que le $\frac{1}{100}$ de celle de l'uranium métallique.

La radioactivité étant une propriété atomique, il est fort curieux qu'elle ne se présente pas comme un caractère commun à tous les éléments : en effet, les autres phénomènes atomiques que nous connaissons se retrouvent dans toutes les substances chimiques, avec des coefficients peu différents, si on les rapporte à leur poids atomique (gravité, inertie, absorption des rayonnements β , γ , etc.).

Cependant M^{me} Curie, à cet ordre de sensibilité, ne put déceler comme radioactifs que les composés d'uranium, de thorium, et certaines roches contenant des substances fortement actives qu'on a isolées depuis. N. Campbell ⁽¹⁾, employant un dispositif plus sensible, signala comme

(¹) N. CAMPBELL, *Jahrbuch der Radioaktivität*, t. II, 1905, p. 434.

manifestant une activité particulièrement intense, par rapport aux autres éléments, le potassium, le rubidium, et le plomb.

Le plomb semblait *a priori* devoir être favorisé à ce point de vue; son poids atomique est très voisin de celui à partir duquel les éléments commencent à être fortement actifs. Pour élucider cette question, MM. Elster et Geitel ⁽¹⁾ ont fait subir des fractionnements au plomb et ont reconnu que cette activité était due à des impuretés : radium D, E et F, et que des échantillons de plomb âgés de 100 ans environ ne manifestent aucune activité appréciable.

MM. Levin et Ruer ont abordé le problème par la méthode photographique ⁽²⁾ en exposant pendant 6 mois environ des plaques sensibles au rayonnement possible de nombreuses substances. Leurs recherches confirmèrent les résultats précédents et ils obtinrent aussi des résultats positifs avec un certain nombre d'éléments rares (lanthane, cérium, niobium, erbium, et néodyme) qui sont suspects de contamination par le thorium ou peut-être l'actinium. Ils confirmaient l'action remarquable du potassium et du rubidium.

J'ai moi-même, avant les expériences de Levin et Ruer, employé les appareils électrométriques que j'ai décrits plus haut, à l'étude de cette question.

Étant donnée la valeur de la conductibilité propre de l'air, une substance qui posséderait une activité de $\frac{1}{10000}$ de celle de l'uranium et recouvrant le fond doit doubler à peu près la valeur du courant. Il est aisé d'apprécier 20 fois mieux. On pourrait donc manifester l'activité de substances qui ne posséderaient que le $\frac{1}{200000}$ du

(¹) J. ELSTER et H. GEITEL, *Phys. Zeitsch.*, t. VII, 1906, p. 841; t. VIII, 1907, p. 273. — H. GEITEL, t. VIII, 1907, p. 776.

(²) LEVIN et RUER, *Phys. Zeits.*, t. IX, 1908, p. 248; t. XI, 1910, p. 322.

pouvoir ionisant de l'uranium. En réalité quand on fait la mesure en introduisant un plateau recouvert de sel ou une feuille métallique, et en observant les précautions décrites, on trouve toujours que la conductibilité a varié dans la chambre d'ionisation de quantités de l'ordre de $\frac{1}{20}$ ou davantage. Il est difficile de tirer de ce fait une conclusion quelconque : on a modifié la nature de la paroi, on a dû modifier les rayons secondaires de la radiation venue de l'extérieur, la variation du courant que l'on constate vient probablement de ce fait, et même si l'on montrait que l'effet est une propriété atomique, on n'aurait pas montré qu'il s'agit d'une émission spontanée, M. Sagnac et M. Langevin ayant montré que la production des rayons secondaires présente, elle aussi, le caractère d'atomicité.

Quoi qu'il en soit, un examen rapide fait dans ces conditions m'a permis de voir que les sels de potassium et de rubidium occupent une place tout à fait à part. Les métaux lourds et leurs sels élèvent la conductibilité de $\frac{1}{12}$ à $\frac{1}{10}$ (Pb, Bi, Hg), les métaux de poids atomique moyen ne produisent pas de variation nette (Fe, Ni, Cs). L'introduction des sels de métaux légers (Na, Li) abaisse la conductibilité de l'air. Dans ce genre de mesures, on substitue, en effet, à une portion de la paroi de zinc ou de laiton une paroi nouvelle constituée par des sels métalliques, et dont l'action peut être plus faible que la première : ce qu'on mesure est la différence entre l'effet de ces deux parois et cette différence peut être négative.

J'ai regardé avec soin les sels alcalins et le thallium, les sels alcalino-terreux, sauf le radium. La radioactivité du baryum si elle existe, n'excède pas $\frac{1}{50}$ de celle du potassium. Il en est de même de tous les autres éléments de cette série, sauf K et Rb. L'étain donne un effet assez remarquable étant donné son poids atomique relativement faible (118). Il augmente la conductibilité de l'air

de 1 à 1,20 ou 1,15. Je n'ai pas étudié les éléments rares, car la méthode que j'employais nécessite la présence d'assez grandes quantités de matière : du reste étant données l'incertitude des résultats et la difficulté de leur interprétation, je ne pense pas qu'il y ait beaucoup à faire dans cette voie.

Cependant je crois pouvoir affirmer que parmi tous les éléments communs (sauf les terres rares et les métaux précieux) aucun, exception faite pour le potassium et le rubidium, n'atteint $\frac{1}{50000}$ de l'activité de l'uranium.

Précautions à prendre relativement aux sels étudiés. — Ce qu'on introduit dans la plupart des cas à l'intérieur des chambres d'ionisation, c'est un sel métallique, et non le métal lui-même. Il est indispensable, étant donnée cette circonstance, de prendre un certain nombre de précautions pour obtenir des résultats comparables et constants; il faut employer des sels bien secs et pulvérisés assez fins. Au delà d'une certaine finesse des grains, leur dimension n'influe aucunement sur le résultat.

On doit également n'introduire dans la chambre d'ionisation que des sels neutres électriquement, ou attendre qu'ils soient désélectrisés. Faute de cette précaution, certains auteurs ont obtenu des résultats dont ils ont quelquefois tiré des conclusions hâtives. En effet la désélectrisation progressive du sel, quand on vient de l'introduire dans la chambre d'ionisation, produit sur la tige collectrice des ions des phénomènes d'influence pouvant donner l'illusion d'un courant. Certains sels sont suffisamment isolants pour que le simple frottement d'une baguette de verre sur leur surface produise des perturbations considérables. C'est à des phénomènes de cet ordre que sont dus les curieux effets qu'on obtient en chargeant, au moyen d'étincelles ou de rayons cathodiques,

des sels de potassium ⁽¹⁾. On obtient, en introduisant ces sels dans un appareil de mesure, une émission apparente de charges négatives que j'aurai l'occasion d'étudier plus en détail par la suite.

On supprime naturellement toutes ces perturbations en disposant au-dessus de la poudre qu'on étudie une feuille métallique, ou même une toile à mailles assez larges.

DEUXIÈME PARTIE.

LE RAYONNEMENT DU POTASSIUM.

Historique. — Le premier travail consacré à la radioactivité du potassium est dû à J.-J. Thomson ⁽²⁾. L'auteur constatait que l'émission de corpuscules par les métaux alcalins sous l'influence de la lumière subsiste, quoique très faible, lorsque la cellule est portée dans l'obscurité absolue. N. Campbell et W. Wood retrouvaient un phénomène connexe, avec les sels de potassium ⁽³⁾. Ils l'ont attribué, dès le début, à un rayonnement pénétrant, capable d'ioniser l'air, et qui se rapproche, par ses propriétés des rayons β connus. La comparaison des différents sels leur montra que l'effet était assez proportionnel à la teneur ⁽⁴⁾. La nature du rayonnement, quoique assez mal connue, l'était cependant suffisamment pour que l'hypothèse d'une explication par des traces de radium fût écartée. Dès le début les auteurs caractérisaient comme actif le rubidium, le cæsium étant inactif.

⁽¹⁾ Mc LENNAN, *Phil. Mag.*, 1902, p. 195.

⁽²⁾ J.-J. THOMSON, *Phil. Mag.*, t. X, 1905, p. 584. On the emission of the negative corpuscles by the alkali-metals.

⁽³⁾ CAMPBELL et WOOD, *Soc. Phil. Camb.*, 1906.

⁽⁴⁾ CAMPBELL et WOOD, *Le Radium*, 1907.

Par contre, Mc Lennan ⁽¹⁾ trouvait que l'activité des sels de potassium n'est pas une propriété normale, et qu'elle varie avec les échantillons d'un même sel. Mc Lennan a reconnu peu après que ces variations provenaient d'impuretés dans les substances employées ⁽²⁾. Néanmoins, il trouve que le rubidium est peu actif et que le cæsium l'est légèrement.

C'est du début de cette controverse que datent mes premières recherches.

MM. Levin et Ruer ⁽³⁾ abordaient cette étude par la méthode photographique et leurs résultats confirmaient l'existence d'un rayonnement impressionnant assez rapidement les plaques sensibles. M. Ebler crut pouvoir attribuer les effets observés à un sixième corps alcalin encore inconnu, et qui se trouverait toujours mélangé aux sels de potassium et rubidium ⁽⁴⁾.

J'ai publié dans les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* un exposé rapide de mes recherches relativement à la nature du rayonnement, et à l'impossibilité de le faire varier par des fractionnements ⁽⁵⁾. Cette dernière Partie a été faite en collaboration avec M. G. Vavon.

J'ai reconnu également le caractère atomique du phénomène et sa spontanéité ⁽⁶⁾. On doit citer sur la question un travail de N. Campbell, où l'auteur étudie spécialement les solutions des sels ⁽⁷⁾, et de W.-W. Strong ⁽⁸⁾, qui retrouva ces phénomènes par la méthode photographique

(1) MC LENNAN, *Radioactivité des métaux alcalins (Le Radium, 1908)*.

(2) MC LENNAN et KENNEDY, *Phil. Mag.*, t. XVI, 1908, p. 377.

(3) LEVIN et RUER, *Phys. Zeits.*, 15 avril 1908.

(4) EBLER, *Zeits. für angew., Chemie*, 1908.

(5) E. HENRIOT, *Comptes rendus*, 5 avril 1909. — E. HENRIOT et G. VAVON, *Comptes rendus*, 5 juillet 1909.

(6) E. HENRIOT, *Le Radium*, février 1910; *Comptes rendus*, 27 juin 1910; *Le Radium*, juin 1910.

(7) N. CAMPBELL, *Proc. Camb. Phil. Soc.*, 1908.

(8) W.-W. STRONG, *American Journal*, 1909.

et les étendit à l'erbium : ce dernier résultat semble peu certain.

Un Mémoire de MM. Elster et Geitel ⁽¹⁾ confirma les résultats obtenus précédemment relativement aux fractionnements, et donna une preuve très convaincante de la spontanéité du rayonnement, en opérant dans les mines mêmes de métaux alcalins. M. Satterly ⁽²⁾ étudia la teneur en radium des sels de potassium et son travail confirme la spécificité du rayonnement. Sauf le Mémoire de M. J.-J. Thomson noté en premier lieu, tous les autres travaux cités sont relatifs à l'ionisation de l'air par les sels de potassium et à leur pouvoir photographique, propriétés qui vont toujours de pair. L'émission des charges dans le vide par le potassium et ses sels fera l'objet d'un Chapitre spécial.

Existence d'un rayonnement ionisant. — Pour mettre en évidence l'existence du rayonnement ionisant des sels de potassium, on accouple à un électromètre, ou à un électroscope Wilson une des chambres d'ionisation décrites plus haut. La chambre étant fermée, on la porte à un potentiel, de préférence positif, de 500 à 1000 volts. Si la chambre a été fermée depuis peu, ou que la tension vient d'être mise, on constate un courant d'ionisation assez fort qui diminue rapidement au début et reste pratiquement constant au bout de 15 ou 30 minutes. On trouve, par exemple, au bout de 30 minutes, que l'image de la feuille de l'électroscope Wilson parcourt d'une façon constante

15 divisions en 184".

On introduit alors, le sel SO^4K^2 par exemple, qu'on a

⁽¹⁾ ELSTER et GEITEL, *Phys. Zeits.*, 1910, p. 275.

⁽²⁾ SATTERLY, *Proc. Camb. Phil. Soc.*, t. XVI, 1911, p. 67.

préalablement étendu sur un plateau pouvant recouvrir le fond de la boîte. Si la chambre d'ionisation a été protégée contre le renouvellement de l'air par une feuille d'étain, on peut commencer les mesures immédiatement. Si au contraire on ne s'est pas protégé contre ce renouvellement, ce qui arrive toutes les fois qu'on veut étudier l'émission sans interposition d'aucun écran absorbant, il faut attendre que la perturbation produite par le renouvellement de l'air ait disparu. On commence les mesures au bout de 15 minutes, et l'on fait cinq mesures échelonnées dans un deuxième quart d'heure, dont on ne garde les résultats que s'ils présentent une concordance satisfaisante. On trouvera par exemple que l'image de la feuille parcourt

15 divisions en..... 32",0

puis

15 divisions en..... 31",0

— 31,5

— 31,2

— 31,5

Moyenne..... 31",4.

On refera ensuite une mesure du terme correctif dû à l'ionisation spontanée, toujours en prenant les mêmes précautions. On trouve

15 divisions en..... 187",0

— 198,0

— 182,0

Moyenne..... 189",0.

La moyenne des temps pour l'ionisation spontanée est 186",5, le courant correspondant s'exprime par $\frac{1}{186,5}$, le courant en présence du sel est $\frac{1}{31,4}$; le courant corrigé sera $\frac{1}{31,4} - \frac{1}{186,5} = 0,0265$, ou en multipliant tous les résultats par $10^4,265$. Il est indispensable, si les mesures

sont faites à l'électroscope, de s'assurer que la sensibilité au volt n'a pas changé d'une manière appréciable.

Si l'on n'a pu empêcher le renouvellement de l'air par la feuille d'étain, on voit que les mesures sont très longues, mais, en observant les précautions que je viens d'indiquer, on trouve des résultats aussi concordants dans l'un ou dans l'autre dispositif.

Pénétration des rayons. — Pour connaître la nature d'un rayonnement et le classer parmi les rayons α , β ou γ , on doit étudier comment il se comporte quand on essaie de l'absorber par la matière; on verra ensuite comment les champs magnétiques et électriques agissent sur lui. Nous examinerons d'abord l'absorption du rayonnement par le sel qui l'émet, et ensuite l'absorption par des écrans d'étain.

Absorption par le sel lui-même. — Lorsqu'on mesure le rayonnement d'un sel de potassium, on trouve que l'épaisseur n'intervient pas, si l'on emploie une couche assez épaisse. Si l'épaisseur tombe au-dessous d'une certaine limite, le courant mesuré est plus faible. De la manière dont le courant varie avec la couche de sel, on peut déduire le coefficient d'absorption par le sel lui-même. On sait que, contrairement à ce qui se passe pour les rayons lumineux, les substances radioactives ne possèdent pas d'absorption sélective pour les rayons qu'elles émettent. Nous verrons que ce caractère se retrouve pour le potassium et le rubidium. La seule difficulté de cette recherche est de disposer le sel en couches bien uniformes. On y arrivera d'une façon satisfaisante en prenant un tamis assez fin et en recouvrant progressivement le plateau métallique qui doit porter le sel, d'une couche d'épaisseur convenable. On pèsera, après la mesure du courant, la quantité de substance employée, et l'on divisera par

la surface : ce qui intervient dans le calcul du coefficient d'absorption, ce n'est pas l'épaisseur, mais le poids par centimètre carré.

Supposons que nous ayons affaire à un rayonnement homogène, dont le coefficient d'absorption par le sel est λ ; si cette hypothèse n'était pas vérifiée, on admettrait que le rayonnement se compose de plusieurs rayonnements homogènes qu'on traiterait comme le précédent. Supposons en outre que, indépendamment de toute absorption, l'unité de volume du sel débite une quantité de rayonnement a (fig. 6). Une tranche infiniment mince d'épaisseur dx , située à une profondeur x au-dessous de

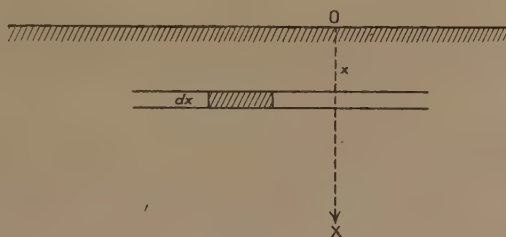


Fig. 6.

la surface libre, débitera une quantité de rayonnement $a dx$. Ces rayons subiront, avant d'arriver à la surface, une certaine absorption, et l'ionisation qui leur correspondra à la sortie sera

$$ae^{-\lambda x} dx.$$

Pour une couche de sel infiniment épaisse, on obtiendra l'ionisation totale en intégrant l'expression entre 0 et ∞ ; on obtiendra ainsi

$$I_{\infty} = a \int_0^{\infty} e^{-\lambda x} dx = \frac{a}{\lambda}.$$

Pour une couche d'épaisseur d , on obtiendrait seule-

ment la quantité suivante :

$$I_d = a \int_0^d e^{-\lambda x} dx = \frac{a}{\lambda} (1 - e^{-\lambda d}).$$

On aura donc

$$\frac{I_d}{I_\infty} = 1 - e^{-\lambda d}.$$

Soient ρ le poids spécifique du sel, p le poids par unité de surface rayonnante, l'expression précédente pourra s'écrire

$$\frac{I_p}{I_\infty} = 1 - e^{-\frac{\lambda}{\rho} p}$$

ou

$$\frac{\lambda}{\rho} = \frac{1}{p} \log \text{nép.} \frac{I_\infty}{I_\infty - I_p}.$$

En opérant comme il a été dit précédemment, on constate qu'à partir de 0^g,5 par centimètre carré, le courant devient pratiquement indépendant de l'épaisseur. Les nombres suivants sont relatifs au sulfate de potassium SO⁴K² qui convient particulièrement pour ce genre d'expérience, parce qu'il n'est pas déliquescent; avec le chlorure les expériences sont plus difficiles et moins concordantes.

p (en grammes).	$\frac{I_p}{I_\infty}$	$\frac{\lambda}{\rho}$
0,622.....	1	
0,214.....	0,916	11,37
0,138.....	0,755	10,22
0,096.....	0,633	10,44
0,0552.....	0,477	11,70
0,0367.....	0,357	12,0
0,0348.....	0,338	12,2

Les résultats sont représentés graphiquement dans la figure 7. Les nombres de la dernière colonne peuvent être

considérés comme pratiquement constants et leur moyenne est égale à

$$\frac{\lambda}{\rho} = 11,32.$$

Les écarts qu'ils présentent par rapport à cette moyenne proviennent plutôt de la difficulté qu'il y a à réaliser des

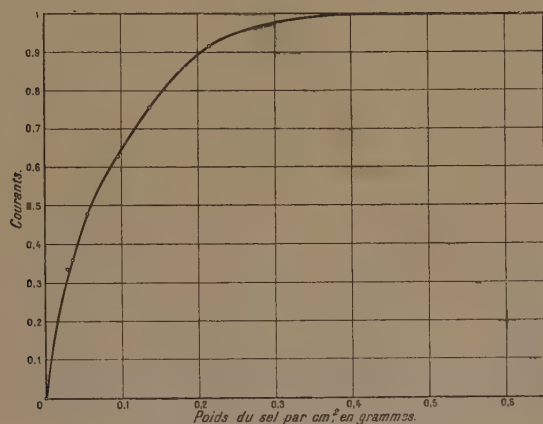


Fig. 7.

couches minces et homogènes de sel, que d'erreurs accidentelles dans la mesure du courant. Les nombres qui ont conduit à ce résultat ont été obtenus en croisant les mesures relatives à des couches minces avec celles relatives à des couches épaisses (plus de 1^e par centimètre carré). La constance approchée du rapport $\frac{\lambda}{\rho}$ montre qu'on a affaire à un rayonnement pratiquement homogène dans les limites où les mesures ont été possibles. Nous verrons que ce caractère se retrouve approximativement quand on absorbe les rayons par des écrans extérieurs; il se retrouve également pour le rayonnement du rubidium.

La valeur du rapport $\frac{\lambda}{\rho}$ est du même ordre que celle que

Crowther a obtenue ⁽¹⁾, dans ses recherches très étendues sur les rayons β de l'uranium. Il ressort, en effet, des expériences de cet auteur que le rapport $\frac{\lambda}{\rho}$ pour les rayons β de cette substance est une fonction atomique des éléments de l'écran, ce rapport variant entre 4, 5 pour les éléments légers et 10 pour les éléments lourds.

Ce premier résultat montre que les rayons du potassium se comportent, au point de vue de leur pénétration, comme des rayons β homogènes. Le sulfate qui a servi pour ces expériences était un échantillon chimiquement pur.

Mc Lennan, dans son Mémoire cité plus haut, a obtenu pour la même question des courbes d'allure semblable, mais ses résultats sont exprimés en fonction de l'épaisseur de la couche de sel, ce qui rend difficile leur comparaison avec les résultats précédents : je crois préférable de rapporter les nombres au poids d'écran par centimètre carré, parce que cette grandeur est fournie directement par l'expérience. Quelques écarts que cet auteur signale entre les cyanures et les chlorures proviennent sans doute de ce que Mc Lennan a cru pouvoir faire des mesures sur des couches minces de corps très déliquescents.

On doit rapprocher de ce genre de recherches celles effectuées par N. Campbell spécialement sur les solutions des sels ⁽²⁾. J'ai fait des essais en ce sens, mais je n'ai pu réaliser de couches de liquide suffisamment minces et uniformes pour en tirer des résultats précis. N. Campbell tire de ses mesures la valeur $\frac{\lambda}{\rho} = 9,016$, qui est assez voisine de la valeur précédente.

Absorption par des feuilles d'étain. — Quand on désire être fixé sur l'homogénéité ou l'hétérogénéité d'un rayon-

(¹) CROWTHER, *Phil. Mag.*, 1906; *Le Radium*, t. III, 1906, p. 353.

(²) N. CAMPBELL, *Proc. Camb. Phil. Soc.*, t. XIV, 1908, p. 557.

nement β , on trace des courbes d'absorption avec des feuilles d'aluminium ou d'étain; lorsque le résultat est une exponentielle simple on admet que les rayons sont homogènes, sinon on admet qu'ils sont hétérogènes, et ce dernier résultat est généralement confirmé par l'étude de la déviation des rayons dans le champ magnétique ⁽²⁾. Les rayons β de l'actinium qui se comportent comme homogènes dans le champ magnétique (Debierne) donnent des courbes d'absorption exponentielles (Godlewski).

Il est, d'autre part, certain que le dispositif expérimental peut modifier légèrement la forme des courbes d'absorption et le coefficient $\frac{\lambda}{\rho}$. Il importe donc d'être renseigné sur les dimensions et les dispositions de l'appareil de mesure.

Diverses causes perturbatrices peuvent produire des écarts à la loi exponentielle sans qu'on soit en droit d'en conclure que le rayonnement est hétérogène : il peut y avoir production à la surface de l'écran d'étain, de rayons secondaires plus absorbables. Il peut se produire aussi que l'indicatrice d'émission des rayons complètement diffusés par des feuilles d'étain ou d'aluminium n'ait pas la même forme que l'indicatrice d'émission à la sortie du sel et contienne une proportion plus ou moins grande de rayons obliques. Le passage de la première forme d'indicatrice à la seconde ne se fera que progressivement parce qu'une seule feuille ne suffira peut-être pas à diffuser complètement les rayons comme s'ils avaient traversé une grande épaisseur d'étain, et cette circonstance produira des variations progressives du rapport $\frac{\lambda}{\rho}$; lorsqu'on augmentera l'épaisseur de l'écran.

(²) M^{me} CURIE, *Radioactivité*, t. II, p. 57; *Rutherford Radioactivity*.

Quelques auteurs ont pu constater en outre, dans le cas des rayons β , une diminution de vitesse assez notable, qui doit correspondre à une déformation de l'exponentielle.

Une autre circonstance doit nous rendre prudent dans les conclusions que nous pourrions tirer des courbes d'absorption : quand on étudie les rayons β d'une substance comme le radium ou l'actinium, on est plutôt gêné par l'excès d'intensité des rayons qu'à leur faiblesse, on pourra par exemple faire des mesures lorsque les rayons auront été réduits par absorption au $\frac{1}{200}$ ou $\frac{1}{500}$ de leur valeur primitive. Ici, il sera impossible d'aller aussi loin; on devra interrompre les mesures lorsque le rayonnement sera tombé par absorption au $\frac{1}{10}$ ou au $\frac{1}{20}$ de sa valeur primitive.

Ces raisons, jointes à la différence qui existait entre les dispositifs expérimentaux, suffisent à expliquer que les nombres obtenus jusqu'à présent pour le potassium concordent peu : ils ont cela de commun avec ceux qui nous ont été donnés sur les rayons β des substances fortement radioactives. On doit dire d'ailleurs que les ordres de grandeur sont en bon accord.

Les premières mesures sur cette question sont dues à N. Campbell et W. Wood ⁽¹⁾. Leurs résultats sont les suivants :

Nombre de feuilles.	Ionisation.	Diminution.	$\frac{\lambda}{\rho}$.
0.....	467		
1.....	361	106	27,2
2.....	299	62	20,0
3.....	265	34	12,7
4.....	340	25	10,6

⁽¹⁾ N. CAMPBELL et W. WOOD, *Proc. Camb. Phil. Soc.*, 1906; *Le Radium*, 1907.

La densité superficielle du papier d'étain est 0^e,00945 par centimètre carré. C'est le papier qu'employait Crowther pour l'uranium, et qui lui avait fourni dans ce cas la valeur $\frac{\lambda}{\rho} = 9,5$. Le rapport $\frac{\lambda}{\rho}$ était calculé en tenant compte de l'absorption de chaque feuille d'étain individuellement. N. Campbell concluait de ces résultats que les rayons sont très hétérogènes et que leur pénétration va en croissant progressivement à mesure qu'ils sont plus absorbés.

MM. Mc Lennan et Kennedy ⁽¹⁾ ayant repris la question trouvent des résultats du même ordre, mais assez différents. J'ai calculé les valeurs de la dernière colonne en admettant 7,3 pour densité de l'étain en feuilles.

Épaisseur d'écran.	$\frac{I_p}{I_0}$	λ .	$\frac{\lambda}{\rho}$
0,00089.....	0,867	160	21,9
0,00178.....	0,793	130	17,8
0,00446.....	0,563	124	16,9
0,01157.....	0,265	115	15,7
0,01607.....	0,165	112	15,3
0,02839.....	0,053	104	14,2

J'ai effectué d'assez nombreuses mesures sur cette question. Elles m'ont conduit au résultat suivant ⁽²⁾ : sauf une baisse plus accentuée au début, la courbe représentative en coordonnées logarithmiques est très sensiblement une droite. Les premières mesures que j'avais effectuées sur cette question m'avaient fourni pour le rapport $\frac{\lambda}{\rho}$ déduit de la partie rectiligne de la courbe, la valeur 16. Des mesures plus précises effectuées par la suite m'ont fourni une valeur un peu plus faible. Comme le dispositif expérimental doit influencer sur le résultat, je

(¹) MC LENNAN et KENNEDY, *Phil. Mag.*, t. XVI, 1908, p. 391.

(²) E. HENRIOT, *Comptes rendus*, 5 avril 1909.

pense qu'il y a lieu de préciser les conditions dans lesquelles ces mesures ont été faites.

La surface couverte par le sel de potassium était de $25\text{cm}^2 \times 50\text{cm}^2$, elle recouvrait le fond de la chambre d'ionisation haute de 30cm . La saturation du courant était atteinte. Les feuilles d'étain sont placées directement sur le sel étudié, car c'est de cette façon qu'on a le plus de chance de mesurer le coefficient d'absorption $\frac{\lambda}{\rho}$ tel qu'il est habituellement défini. Ce mode opératoire diffère de celui de N. Campbell. Dans les expériences de cet auteur, le sel étudié était séparé de la chambre d'ionisation par une feuille d'aluminium, ce qui empêcherait de mettre en évidence un rayonnement très absorbable, s'il en existait un.

Les nombres qui suivent sont relatifs à une couche épaisse de sel. Si l'on appelle I_0 l'intensité du courant mesuré en l'absence d'écran, I_p le courant mesuré lorsque le poids d'écran par centimètre carré est p , on doit avoir, si le rayonnement est homogène,

$$I_p = I_0 e^{-\frac{\lambda}{\rho} p},$$

ρ étant la masse spécifique de l'étain, et

$$\frac{\lambda}{\rho} = \frac{1}{P} \log \text{nép.} \frac{I_0}{I_p}.$$

Je trouvais

SO_4K_2 p en grammes.	$\frac{I_p}{I_0}$	$\frac{\lambda}{\rho}$
0.....	1	
0,0109.....	0,75	25,8
0,0222.....	0,60	23,2
0,0337.....	0,48	22,1
0,0574.....	0,36	17,5
0,08114.....	0,26	16,3
0,117.....	0,16	15,4

KCl	$\frac{I_p}{I_0}$	$\frac{\lambda}{\rho}$
p en grammes.		
0.....	1	
0,0109.....	0,75	25,7
0,0222.....	0,63	20,2
0,0337.....	0,49	21,1
0,0574.....	0,34	18,5
0,08114.....	0,25	15,9
0,117.....	0,15	16

De l'inspection de ces nombres ressort l'impossibilité qu'il y a de représenter les résultats par une formule exponentielle simple

$$I_p = I_0 e^{-\frac{\lambda}{\rho} p}, \quad \text{où} \quad \frac{\lambda}{\rho}$$

serait une constante, les coefficients $\frac{\lambda}{\rho}$ calculés subissant une diminution systématique très nette pour des épaisseurs croissantes de l'écran.

Pour estimer la grandeur de l'écart à la loi exponentielle, j'ai essayé de représenter les résultats par une exponentielle à deux termes (*fig. 8*)

$$\frac{I_p}{I_0} = a e^{-\frac{\lambda_1}{\rho_1} p} + b e^{-\frac{\lambda_2}{\rho_2} p}.$$

Les derniers points de la courbe correspondent à une exponentielle de la forme e^{-14p} , on peut prolonger cette courbe jusqu'à l'axe des ordonnées et représenter par une nouvelle exponentielle l'écart entre cette courbe prolongée et la courbe expérimentale; on trouve pour cet écart une exponentielle en e^{-90p} , et les résultats se représentent, aux erreurs expérimentales près, par une formule à deux termes

$$\frac{I_p}{I_0} = 0,79 e^{-14p} + 0,21 e^{-90p}.$$

Le Tableau suivant montre que cette formule représente assez bien les résultats :

p .	$\frac{I_p}{I_0}$ calculé.	$\frac{I_p}{I_0} : \text{SO}^4 \text{K}^2$.	$\frac{I_p}{I_0} : \text{KCl}$.
0.....	1	1	1
0,0109.....	0,75	0,75	0,75
0,0222.....	0,61	0,60	0,63
0,0337.....	0,50	0,48	0,49
0,0574.....	0,35	0,36	0,34
0,08114.....	0,25	0,26	0,27
0,117.....	0,15	0,16	0,15

(Voir fig. 8.)

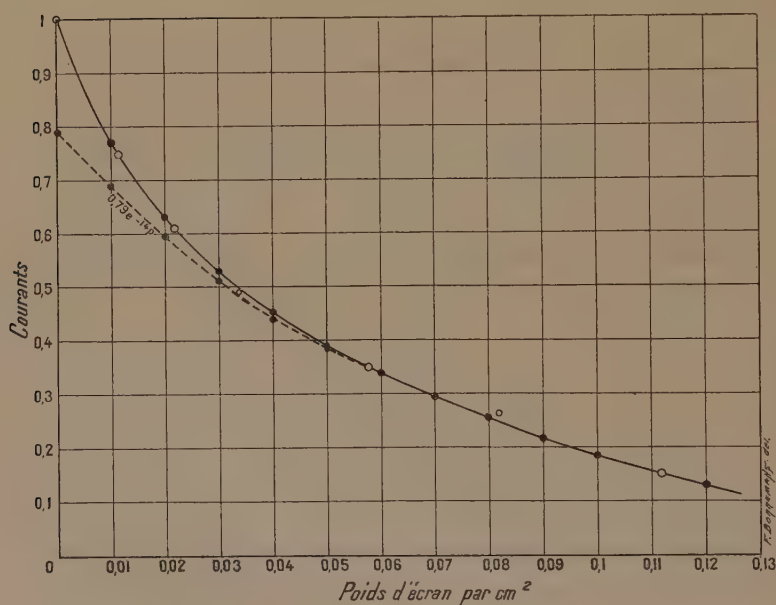


Fig. 8.

Ce qu'on observe correspondrait donc à la superposition d'au moins deux rayonnements dont l'un serait mesuré par les $\frac{7.9}{100}$ du courant en l'absence d'écran et qui serait du même ordre de pénétration $\left(\frac{\lambda}{\rho} = 14\right)$ que

les rayons β ordinaires, le deuxième intervenant seulement au taux de 21 pour 100 et très peu pénétrant ($\frac{\lambda}{\rho} = 90$).

Le rayonnement le plus absorbable est contenu pratiquement tout entier dans la chambre d'ionisation parce qu'elle a une hauteur suffisante; mais il n'en est pas de même des rayons plus pénétrants qui arrivent à la partie supérieure avant d'avoir été très affaiblis; il s'ensuit que la proportion de rayons mous paraît plus élevée qu'elle ne l'est en réalité, ou qu'on ne la mesurerait dans une chambre d'ionisation très haute. On peut, à l'aide d'un calcul simple, évaluer d'une manière probablement assez approchée ce qu'on obtiendrait dans un récipient suffisamment grand pour que l'air qu'il contient absorbe tous les rayons.

Pour cela, désignons par $\frac{\rho'}{\lambda}$ le coefficient d'absorption pour l'air d'un rayonnement homogène. Dans une chambre de hauteur h , il produira une ionisation qu'on peut représenter par

$$I_0 \int_0^h e^{-\frac{\lambda'}{\rho'} x} dx.$$

Dans un récipient très élevé et absorbant tous les rayons, on aurait

$$I_0 \int_0^\infty e^{-\frac{\lambda'}{\rho'} x} dx.$$

Le rapport entre ces deux quantités

$$\frac{\int_0^\infty e^{-\frac{\lambda'}{\rho'} x} dx}{\int_0^h e^{-\frac{\lambda'}{\rho'} x} dx} = \frac{1}{1 - e^{-\frac{\lambda'}{\rho'} h}}$$

est la quantité par laquelle il faut multiplier le courant mesuré pour avoir le total. π est le poids d'une colonne

d'air de hauteur h . Il suffirait de connaître le rapport $\frac{\lambda'}{\rho}$ pour l'air. Nous verrons plus loin un procédé indirect qui permet d'évaluer cette grandeur.

Nous pouvons, dès maintenant, obtenir une valeur probable de ce terme à l'aide des considérations suivantes.

Dans le cas des rayons β de l'uranium ⁽¹⁾ $\frac{\lambda}{\rho}$ se présente comme une quantité qui dépend de la nature de l'écran. D'après les résultats de Crowther, on trouve :

Pour l'étain	9,5
Pour SO^4K^2	6,4
Pour l'air	4,5

$\frac{\lambda}{\rho}$ est une fonction légèrement croissante du poids atomique.

Nous trouvons avec le potassium :

$\frac{\lambda}{\rho}$ pour l'étain... ..	14
$\frac{\lambda}{\rho}$ pour SO^4K^2	11,3

En supposant que l'analogie se poursuit dans le cas actuel jusqu'à l'air, nous aurons une limite supérieure de $\frac{\lambda'}{\rho}$ en adoptant la valeur 11,3. Cette prévision sera

d'ailleurs vérifiée par la suite. La fraction $\frac{1}{1 - e^{-\frac{\lambda'}{\rho'}\pi}}$

change peu avec $\frac{\lambda'}{\rho'}$ qui n'a pas besoin d'être connu avec une grande exactitude.

En adoptant cette valeur et en faisant la correction, on trouve

$$\frac{I_p}{I_0} = 0,90 e^{-14p} + 0,10 e^{-90p}.$$

(¹) CROWTHER, *loc. cit.*

Ce qui fait que le rayonnement très absorbable entraînerait seulement dans le rayonnement total au taux de 10 pour 100.

Je pensais au début de mes recherches que ces rayons peu pénétrants pouvaient provenir d'une légère contamination par le radium se manifestant par des rayons α , mais je crois que cette hypothèse est à rejeter : cette émission, lorsqu'on part d'un sel pur, ne varie pas au fractionnement, et elle est suffisamment pénétrante pour que la confusion avec les rayons α soit impossible.

La question de savoir s'il y a émission de rayons α est assez importante, Strutt ⁽¹⁾ ayant décelé dans les minerais de potassium une quantité remarquable d'hélium, comme le montrent les nombres suivants :

		Hélium (cm ³ par 100 ^g).
Sel gemme	Na Cl	0,0233
Sylvine.....	K Cl	0,55
Carnallite	Mg Cl ² . K Cl. 6 H ² O	0,151
Kieserite	SO ⁴ Mg. H ² O	0,0179

On pouvait penser qu'il existait une relation entre l'hélium trouvé et des rayons α hypothétiques du potassium; malgré tout je n'ai pu trouver de rayons α . Ceci n'a rien qui doive surprendre : certains minerais, tels que les émeraudes, connus pour leur richesse en hélium, ne m'ont permis de constater aucune radioactivité mesurable.

La proportion de rayons α dans le cas du potassium doit donc être très faible, si elle existe, et ce caractère, tout à fait opposé à celui qui se manifeste pour les corps radioactifs connus, suffit à écarter définitivement l'explication de la radioactivité des sels de potassium par la contamination de traces de radium.

Je suis même disposé à douter de l'existence objective

(1) STRUTT, *Proc. Roy. Soc. A.*, t. LXXXI, p. 278.

de la radiation très absorbable : dans bien des cas, l'altération initiale de la courbe d'absorption a pu être mise sur le compte de rayons secondaires parasites formés par l'écran.

Dans le cas actuel, si l'on suppose que le rayonnement absorbable existe réellement, il doit provenir d'une couche très mince à la surface du sel, le rayonnement pénétrant étant fourni par une couche plus épaisse. Quand nous disposerons dans l'appareil de mesure des couches minces de sel, le rayonnement devra paraître, dans l'ensemble, plus absorbable que celui des couches épaisses. Ce n'est pas ce qui se produit en réalité.

Dans les mesures suivantes, le calcul permettrait de prévoir une variation 60 à 71 pour K (K étant le rapport des courants mesurés avec écran et sans écran), dans l'hypothèse où ce rayonnement aurait une existence objective.

On trouve, en faisant la mesure :

Poids total du sel sur 1125cm ² .	K.
42.....	0,74
100.....	0,705
242.....	0,70
307.....	0,72
720.....	0,72

K ne subit pas de variation nette et l'existence de ce rayonnement paraît peu probable.

Crowther a trouvé pour les rayons β de l'uranium des écarts du même ordre et dans le même sens, à la loi exponentielle, en employant des écrans d'étain, alors que ces rayons se comportent comme homogènes avec des écrans de poids atomique plus légers.

Ici l'écart doit être encore accentué. Becquerel a montré en effet que, quand la vitesse d'un rayonnement β diminue,

la proportion de rayons secondaires qu'il donne en arrivant sur un écran se trouve augmentée. Il semble bien que c'est de cette manière que doivent s'expliquer les résultats observés.

Nature du courant d'ionisation. — Les résultats précédents suggèrent l'idée que les rayons qui nous occupent sont des rayons β ; ils s'en rapprochent par leur pouvoir de pénétration intermédiaire entre celui des rayons β de l'uranium et des rayons β du radium. Il importait néanmoins de voir si l'analogie se poursuit plus loin.

On peut d'abord constater que la saturation est facile, ce qui écarte l'hypothèse d'une forte émission de particules α . Pour me rendre mieux compte de ce qu'on obtient dans des appareils de dimensions semblables, avec les corps radioactifs contenant une forte proportion de rayons α , j'ai dilué de l'oxyde noir d'uranium dans de l'oxyde rouge de fer jusqu'à obtenir un produit manifestant une activité du même ordre que le sulfate de potasse; la comparaison des résultats obtenus est assez concluante; on trouve par exemple :

Volts.	SO ⁴ K ² .	Oxyde d'uranium dilué.
4.....	0,378	0,110
8.....	0,558	0,281
91.....	0,918	0,776
184.....	0,970	0,862
204.....	0,990	0,921
352.....	1	0,945
762.....	1	1

La saturation est beaucoup plus difficile pour l'uranium que pour le potassium : elle n'est certainement pas totale à 762 volts, cela tient à la forte proportion de rayons α qu'il contient. Au contraire, pour le potassium, la saturation

est déjà assurée avec 200 volts (voir *fig. 9*). Le voltage de 500 volts a servi pour la plupart des expériences.

Le courant est un courant d'ionisation bipolaire. Je m'en suis rendu compte en faisant deux mesures du courant après avoir porté la chambre d'ionisation à deux

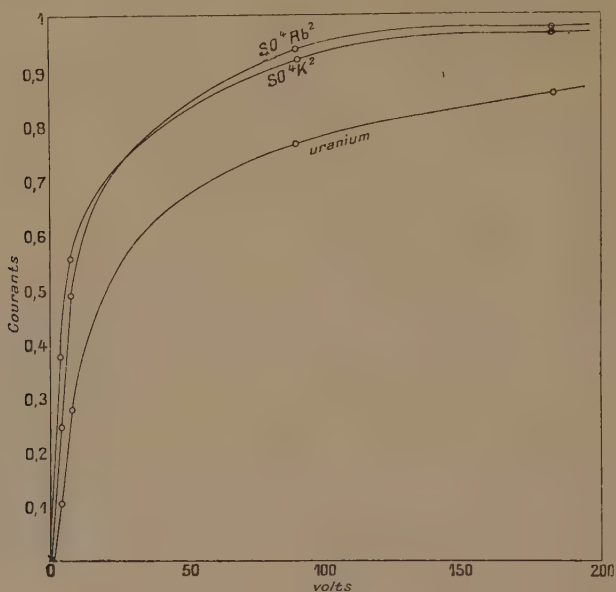


Fig. 9.

potentiels égaux et opposés. On retrouvait le même courant à 2 pour 100 près. Ceci nous montre que chaque particule constituant le rayonnement doit donner un nombre d'ions assez élevé. Si en effet une particule perdait suffisamment de vitesse pour être incapable de produire l'ionisation, elle serait vraisemblablement recueillie au même titre qu'un ion; la différence

$$i_n - i_p$$

entre les intensités négatives et positives du courant

représenterait la charge des particules; or, on trouve

$$\frac{i_n - i_p}{i_n} < \frac{1}{50}.$$

Ceci prouve que chaque particule doit fournir au moins 50 ions des deux signes, ce qu'on pouvait prévoir si l'on admet dès maintenant l'assimilation des rayons qui nous occupent à des rayons β de vitesse intermédiaire entre ceux du radium et ceux de l'uranium.

Il est probable que la quantité d'ions fournie par une particule est beaucoup plus élevée, puisque avec le rubidium, dont les rayons sont beaucoup moins pénétrants, cette bipolarité subsiste encore.

Déviation des rayons. — Pour rendre plus étroite l'analogie entre les rayons du potassium et les rayons β , il importait de voir si ces rayons possèdent une grande déviabilité par le champ électrique et le champ magnétique. Ce genre d'expériences est délicat dans le cas qui nous occupe; on se heurte à l'impossibilité de canaliser le rayonnement, ce qui aurait pour effet de diminuer son intensité dans de fortes proportions. Ceci rend à peu près impossible une mesure même approximative de ν et de $\frac{e}{m}$ pour ces rayons.

N. Campbell ⁽¹⁾ a mis en évidence la déviation de ces rayons par un champ électrique au moyen d'un ingénieux dispositif. Les rayons issus d'une large surface de sel actif étaient reçus dans une chambre d'ionisation de grandes dimensions dont la partie intérieure était fermée par une mince feuille d'aluminium. Avant d'arriver à la chambre, les rayons traversaient l'espace compris entre une série de plateaux verticaux distants de 0^{cm},6; chaque plateau présentait une différence de potentiel électrostatique sur

(¹) N. CAMPBELL, *Proc. Camb. Phil. Soc.*, t. XIV, 1907, p. 231.

en bois recouvert d'étain se trouve placée sur la droite, et la face de cette boîte tournée vers le sel étudié est fermée au moyen d'une feuille d'étain mince. Elle est accouplée à un électroscope Wilson qui sert à mesurer le courant. La répartition du champ sur un plan diamétral de l'électro est marquée sur la figure : le champ est assez faible puisqu'il varie entre 152 gauss et 525 gauss, la surface couverte par le sel est de $15^{\text{cm}^2} \times 16^{\text{cm}^2}$. Les rayons sont émis dans toutes les directions par le sel de potassium, une certaine quantité de rayons obliques pénètre donc dans la chambre d'ionisation ; si l'établissement du champ magnétique fait varier d'une façon appréciable le courant mesuré, on peut être certain, étant donnée la faiblesse de ce champ, qu'on a affaire à un rayonnement facilement déviable, et ceci fournira déjà un précieux renseignement. On peut même espérer que cette méthode fournira le signe de l'électrisation des particules, ce qu'on ne peut attendre de la déviation électrostatique ; en effet, j'ai toujours trouvé un courant plus intense quand le champ magnétique est tel qu'il entre dans le plan de la figure, c'est-à-dire tel qu'il tende à rabattre vers la droite un flux d'électrons émis de bas en haut par le sel.

Étant donnée la surface relativement restreinte occupée par le sel et le long trajet que les rayons accomplissent dans l'air avant d'atteindre la chambre d'ionisation, on ne peut s'attendre à trouver des courants intenses, ce qui constitue une grosse difficulté pour la réalisation des mesures.

En fait, j'ai obtenu au début de ces expériences d'assez nombreux insuccès, la chambre d'ionisation et le sulfate de potassium n'étant pas placés dans les meilleures positions possibles. Après quelques tâtonnements, je suis arrivé à disposer les appareils dans une position telle que le renversement du champ magnétique donnait une différence de 15 pour 100 pour les courants mesurés en pré-

sence du sel. J'ai vérifié qu'en l'absence de ce dernier le renversement du champ magnétique ne donnait rien de net pour le courant spontané d'ionisation. J'ai répété un grand nombre de fois l'expérience de la manière suivante : le courant était disposé par un aide dans un sens quelconque, et c'est seulement à la fin des mesures que je me rendais compte, au moyen d'une boussole du sens du champ dans l'électro. Ce sens s'est toujours trouvé conforme à celui que je pouvais prévoir de mes mesures en supposant que les rayons du potassium sont constitués par un flux d'électricité négative.

Comme confirmation, j'ai appliqué à ce rayonnement, pour l'étude de la déviation par un champ magnétique, la méthode qui sera décrite plus loin et qui a été employée pour les rayons de rubidium. J'ai pu au moyen de cette méthode, obtenir des variations allant jusqu'à 40 pour 100 du courant mesuré en présence du champ magnétique pour le sulfate de potassium, mais ne pouvant renseigner sur le signe de l'électrisation des particules.

Je dois néanmoins insister sur le caractère qualitatif de ces expériences : elles prouvent seulement qu'une notable partie du rayonnement subit une facile déviation dans les champs électriques et magnétiques : si une partie de ce rayonnement est peu déviable, comme les rayons α , elle est incapable de nous l'indiquer. On pourrait peut-être obtenir des renseignements précis sur la vitesse, la masse et l'homogénéité de ce rayonnement en le canalisant, et en produisant sur une plaque photographique la déviation électrique et magnétique, mais une semblable expérience demanderait un temps de pose de plusieurs années.

Le rayonnement est une propriété normale des sels de potassium. — Une première preuve de ce fait est que tous les sels de potassium, chimiquement purs ou non, introduits dans une chambre d'ionisation, donnent

un courant qui ne permet de les confondre avec aucune autre substance.

Les sels préparés ou cristallisés récemment donnent exactement le même courant que les sels placés depuis longtemps dans les collections.

N. Campbell n'a trouvé aucune différence au point de vue de l'activité entre les sels de potassium d'origine minérale et ceux d'origine végétale (cendres de bois de Sussex). La propriété radioactive se présentant donc comme un caractère commun à tous les sels de potassium, on peut se demander si cette propriété appartient en propre à l'élément potassium ou à quelque élément qui lui est toujours associé.

On pourrait d'abord l'attribuer à une impureté radioactive très difficile à séparer : cette impureté ne saurait être le radium ou un autre élément radioactif connu. En effet, nous avons vu que le rayonnement qui nous occupe se présente avec tous les caractères d'un rayonnement β . Or, parmi tous les corps radioactifs connus ne présentant pas de rayons β (Ur X, Ra B, Ac. A, AcC, Th A), aucun n'a une vie moyenne supérieure à 1 mois. Si la radioactivité des sels de potassium provenait de la contamination par un tel produit, l'activité de vieux échantillons ne serait pas la même que celle d'échantillons récents, et cette activité varierait avec le temps d'une façon nette. Je n'ai jamais pu constater rien de semblable.

M. Ebler ⁽¹⁾, à une époque où cette question était encore peu connue, attribuait l'activité du potassium et du rubidium à un sixième métal alcalin de poids atomique élevé qui leur serait toujours uni, et dont la séparation serait très difficile. Il l'aurait caractérisé avec une abondance particulière dans certaines sources de Durkheim. L'auteur n'est pas revenu dans la suite sur cette conclusion qui

(¹) EBLER, *Ion*, t. I, 1908, p. 74.

est rendue difficilement soutenable par le fait que le potassium et le rubidium possèdent des rayonnements qu'il est impossible de confondre, et d'attribuer à une même substance active.

On pouvait se poser la question de savoir si cette propriété radioactive ne pouvait provenir d'un dérivé du potassium, qui se serait formé de la même manière que l'uranium X à partir de l'uranium. Le potassium, dans cette hypothèse, ne paraîtrait actif que parce qu'il serait mélangé avec la substance qui en dérive et qui serait nécessairement formée avec une période de temps très longue. Pour trancher ces différentes questions, il était nécessaire de faire subir aux sels de potassium des fractionnements qu'on pousserait le plus loin possible. Ce qu'on savait était peu encourageant : tous les échantillons, quels que soient les fractionnements qu'ils aient subi précédemment auraient contenu la même impureté et au même degré exactement.

Néanmoins, N. Campbell ⁽¹⁾ entreprit le premier ces fractionnements au début de ses recherches. 600^g de sulfate furent partagés en deux portions par cristallisation à partir d'une solution saturée à 100°. On trouva une différence d'activité de 2 pour 100, les cristaux étant légèrement plus actifs que les eaux mères. Mais quand les deux portions furent recristallisées une deuxième fois en suivant la même méthode on ne trouva qu'une différence de 1 pour 100 à peine décelable entre les deux portions extrêmes.

Puis 1^{kg} de nitrate fut soumis à 18 cristallisations, les cristaux étant chaque fois séparés de la liqueur, redissous et reprécipités. Aucune différence ne put être décelée entre les liqueurs mères et les cristaux obtenus à la fin.

Mc Lennan ⁽²⁾ trouvait de son côté que l'activité ne

(1) N. CAMPBELL, *Le Radium*, 1907; *Nature*, mai 1908.

(2) MC LENNAN, *Le Radium*, mai 1908.

peut être considérée comme une propriété normale, et il s'exprimait de la manière suivante : « Des échantillons de sels de potassium provenant de différentes sources possèdent des activités différentes : par exemple deux chlorures de potassium ont donné des activités différant de 40 pour 100. Dans le cas du cyanure de potassium, les activités ont varié de 5 à 20 pour 100. Un spécimen du sulfate de potassium n'a donné qu'une radioactivité très faible. Toutefois, dans la majorité des cas, les variations observées n'ont pas été aussi fortes, mais les différences obtenues lorsqu'on tient compte des variations d'état, de densité, de division du sel sont si importantes, qu'il semble bien que l'activité des sels de potassium n'est pas une propriété atomique normale du métal. » Cependant, dans un article ultérieur ⁽¹⁾, MM. Mc Lennan et Kennedy ayant fait analyser les cyanures trouvent que leur teneur varie dans de telles proportions, que l'impureté des produits pourrait bien expliquer les variations observées dans la mesure du courant.

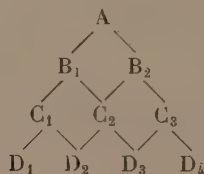
Estimant qu'il était difficile, d'après ces propositions plutôt contradictoires, de se faire une opinion, je me suis décidé à entreprendre des fractionnements aussi prolongés qu'il me serait possible sur les différents sels de potassium.

Essais de fractionnements. — Cette partie de mon travail a été effectuée au laboratoire de M. Lespieau que je tiens à remercier de son hospitalité. Comme je comptais pousser les fractionnements plus loin qu'on ne l'avait fait jusque-là, M. G. Vavon accepta de m'aider dans cette voie et c'est le résultat de cette recherche que je vais rapporter. Je crois utile d'indiquer comme se faisait la comparaison des différents produits provenant du fractionne-

(¹) MC LENNAN, *Phil. Mag.*, septembre 1908.

ment, et avec quelle précision. Les substances à comparer étaient portées successivement dans la chambre d'ionisation et le courant mesuré à l'électroscope Wilson. Comme il s'agit d'apprécier seulement l'égalité de deux courants, la mesure de l'ionisation spontanée n'a qu'une importance accessoire. Pour chacune des portions du fractionnement, on faisait une série de 8 ou 10 mesures du courant qui étaient généralement concordantes à moins de $\frac{1}{50}$ près. On comparait les moyennes qui, pour les différentes fractions de tête et de queue, se sont toujours trouvées concordantes au $\frac{1}{100}$ près ou même mieux. C'est dire que le résultat de ces recherches a été complètement négatif et qu'il est bien favorable au fait que l'activité est une propriété normale.

1. *Cristallisations fractionnées du chlorure.* — La mesure de l'activité nécessite d'assez fortes quantités de matières : 100^g ou 200^g; il était donc nécessaire, pour ne pas se trouver arrêté par le manque de matière, de partir d'une quantité assez considérable de chlorure. Le chlorure était dissous dans l'eau pure distillée et la solution concentrée jusqu'à être saturé à la température de l'ébullition. Les cristaux étaient séparés des eaux mères et l'opération recommencée sur chacune des deux portions. Pour n'être pas trop rapidement arrêté, je réunissais les fractions intermédiaires deux à deux comme dans la méthode de fractionnement employée pour l'isolement du radium, dont le schéma est le suivant :



Au bout d'un grand nombre de ces séparations les

portions de tête et de queue ont été comparées et ont fourni les valeurs suivantes :

Cristaux	37,3
Eaux mères	37,2

2. *Précipitation du chlorure par l'acide chlorhydrique gazeux.* — Quand on envoie de l'acide chlorhydrique dans une solution saturée de chlorure, ce sel précipite. L'acide qui arrive produit un brassage énergique, et l'on peut espérer, la précipitation étant lente, que les premières portions déposées présenteront des propriétés différentes des autres. Le fractionnement était organisé comme précédemment, d'une façon méthodique et presque continue. La même quantité, assez considérable de chlorure, a été soumise à une précipitation lente. Les portions de tête et de queue ont été comparées pendant le fractionnement et à la fin, elles n'ont jamais présenté la moindre différence appréciable. J'ai obtenu pour les fractions extrêmes 32,3 et 32,5 dans la mesure du courant.

3. *Entraînements au sulfate de baryum.* — J'ai obtenu également des résultats négatifs en produisant des entraînements au sulfate de baryum. Cette méthode aurait des chances d'être efficace dans le cas d'une impureté due à un métal polyvalent. Le radium par exemple, s'entraîne bien dans ces conditions. Un échantillon de sulfate de potassium chimiquement pur, était précipité, par petites portions au moyen du chlorure de baryum et le chlorure obtenu était comparé au chlorure non traité sans qu'on puisse déceler aucune différence.

4. *Chauffage des sels.* — Dans le cas où l'impureté aurait été volatile, on pouvait espérer la chasser par chauffage des sels. J'ai chauffé à plusieurs reprises et pendant plusieurs heures le sulfate au rouge vif sans modifier ses propriétés.

J'ai fait, en outre, à plusieurs reprises cristalliser des sulfates : quand cette opération est effectuée sur des sels ordinaires, on a quelquefois de petites variations d'activité, probablement parce qu'une des fractions se purifie. Effectuée sur des sels chimiquement purs du commerce, elle ne donne rien ⁽¹⁾.

Expériences d'Elster et Geitel. — Dans une série d'expériences publiées peu après les miennes, MM. Elster et Geitel sont revenus sur cette question ⁽²⁾.

Ils mirent en œuvre l'électrolyse fractionnée du chlorure avec cathode de mercure, puis la cristallisation fractionnée du bitartrate, du perchlorate et du fluorure. Aucune de ces méthodes ne permit d'observer le moindre indice de fractionnements.

Il semble donc bien qu'en présence de la diversité des moyens employés, on doive considérer comme définitivement acquis le fait que l'activité des sels de potassium est une propriété normale de ces sels.

Le rayonnement est une propriété atomique. — Ici encore il existe une divergence notable entre les résultats de N. Campbell et ceux publiés en dernier lieu par Mc Lennan et Kennedy. Le premier de ces auteurs trouve qu'il y a une bonne proportionnalité entre le courant et la teneur en métal, les seconds trouvent que le quotient de ces deux quantités varie d'une façon trop considérable pour qu'on puisse admettre l'atomicité.

Pour essayer de fixer ma conviction, j'ai refait, avec tout le soin possible, des mesures d'activité sur les différents sels, et je suis arrivé à me convaincre que le phénomène est bien atomique.

(1) E. HENRIOT et G. VAVON, *Comptes rendus*, 5 juillet 1909.

(2) ELSTER et GEITEL, *Phys. Zeitschr.*, t. II, 1910, p. 275-280..

Dans le but d'augmenter la précision des mesures j'ai employé le dispositif de compensation à deux chambres d'ionisation. Le courant était mesuré à l'électromètre à quadrants au moyen de la méthode de zéro qui a été décrite plus haut, et qui donne des résultats bien constants.

Pour obtenir un courant d'ionisation nul avec les deux chambres d'ionisation, il ne suffit pas de les porter à des potentiels égaux et opposés, quoiqu'elles soient construites des mêmes matériaux et avec les mêmes dimensions. Je n'ai pu obtenir un courant nul qu'en les portant à des potentiels de signe contraire, mais quelquefois assez notablement différents. Je m'assurais, avant et après chaque mesure en présence de corps actif, que la symétrie se maintenait et que le courant spontané était négligeable.

Dans les cas où cela était nécessaire, il était fait une petite correction, n'atteignant pas le $\frac{1}{30}$. Les sels employés étaient des produits chimiquement purs du commerce, préalablement séchés, pulvérisés et étendus en couche suffisamment épaisse pour obtenir la radiation maximum.

Dans les expériences de N. Campbell, la teneur du sel variant de 1 à 4 environ, le rapport de l'activité à la teneur varie seulement de 136 à 181 ce qui constitue déjà une remarquable vérification. Il ne faut pas s'attendre, dans des expériences de ce genre, à trouver une proportionnalité très exacte entre l'intensité mesurée et le pourcentage en métal actif. Le rayonnement mesuré et le rayonnement réel d'une substance donnée sont entre eux dans un certain rapport $\frac{\lambda}{\rho}$ (λ étant le coefficient d'absorption par le sel pour les rayons qu'il émet, ρ étant sa masse spécifique), ce rapport doit présenter d'un sel à l'autre de petites variations.

D'autre part, il est bien difficile d'admettre qu'on a pu amener les différents sels dans des états physiques abso-

lument comparables : certains d'entre eux sont déliquescents, d'autres se pulvérisent mal. Quoi qu'il en soit la vérification est assez bonne comme le montre le Tableau suivant :

	Teneur pour 100.	Courant.	Rapport.
SO^4K^2	44,91	378	118
KI	23,58	210,7	112
KBr	32,87	278	118
KCl	52,48	422	124
KF	67,32	540	123
ClO^3K	28,61	255	110
AzO^3K , '.....	38,69	306	126

Les nombres de la dernière colonne sont assez constants : ceci montre qu'il y a proportionnalité approchée entre l'activité et la teneur, et de plus que les éléments combinés au métal n'interviennent pas par un rayonnement propre, susceptible d'altérer notablement la proportionnalité. Les halogènes, le soufre, l'oxygène, ne possèdent donc pas de radioactivité comparable à celle du potassium.

Une autre preuve à l'appui de l'atomicité, c'est que, dans ses différentes combinaisons, le potassium possède la même espèce de rayons. Les nombres exprimant la loi d'absorption de l'émission du sulfate et du chlorure sont les mêmes au degré de précision des expériences.

Je tenais également, dans le même ordre d'idées, à essayer l'action des variations de température. On sait que les phénomènes atomiques (gravité, inertie, rayons du radium, diamagnétisme) présentent une indifférence totale à la température. Par contre les phénomènes moléculaires ou corpusculaires (conductibilité électrique des métaux, etc.) sont généralement sensibles à l'action de ce facteur. Il est bon, quand on désire employer ce criterium,

(¹) Voir p. 33.

d'opérer dans le plus grand intervalle possible de température. Ici, vu les circonstances spéciales dans lesquelles on se trouve et la nécessité d'employer des chambres de grandes dimensions, on se trouve très limité dans cet ordre d'idées. Je n'ai pu faire d'expériences suffisamment nettes qu'entre 14^0 et 140^0 , ce qui est un intervalle très restreint. Cependant, même dans ces limites étroites, il existe peu de phénomènes non atomiques qui se montrent indifférents à la température.

Pour effectuer les expériences, j'employais l'appareil représenté par la figure 11. Il est constitué par une chambre d'ionisation en zinc à doubles parois

$$(24^{\text{cm}} \times 50^{\text{cm}} \times 20^{\text{cm}}).$$

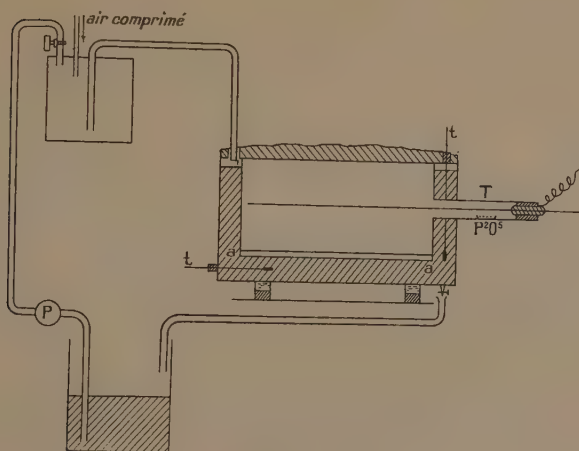


Fig. 11.

L'écartement entre les deux parois, de 5^{cm} , est destiné à recevoir de l'huile chauffée à un degré convenable. La température est lue sur les thermomètres *tt* et un agitateur permet de brasser énergiquement le bain pour égaliser les températures au moment d'une mesure. La tige collectrice des ions est montée sur ses isolants habituels à

l'extrémité d'un tube de laiton assez long pour éviter que l'isolant ne s'échauffe, et elle est mise en relation avec un électroscope Wilson. On peut faire écouler l'huile à la partie inférieure dans un baquet, une pompe à engrenage P la remontera dans une marmite où elle est chauffée par un fourneau à gaz. L'appareil étant disposé dans ces conditions, voici comment je l'employais : le sel est introduit bien sec dans le fond de la chambre d'ionisation par la rainure *aa*, et des nacelles contenant de l'acide phosphorique étaient disposées à l'intérieur du tube T. Elles ont pour but d'arrêter les traces d'humidité qui pourraient s'échapper du sel au moment de la chauffe et qui viendraient se condenser dans la seule partie froide de l'appareil, c'est-à-dire le tube T et l'isolant.

La quantité d'huile nécessaire atteint une trentaine de litres, elle est chauffée vers 160° ou 170° dans la marmite B pendant qu'on fait quelques mesures du courant, la chambre d'ionisation étant froide. Dans les premières expériences, pour envoyer l'huile dans la double paroi, je me contentais de siphonner. Comme la quantité d'huile est assez considérable, cette manœuvre est longue, et l'huile se refroidit. Pour éviter cet inconvénient, j'admettais de l'air comprimé dans la marmite et je siphonnais l'huile sous pression, ce qui assurait un transvasement très rapide.

Les mesures sont commencées immédiatement, mais il se produit des perturbations au début, avant que les températures s'égalisent et les mesures ne commencent à devenir régulières que lorsque la température est tombée à 140° .

Avant chaque mesure, la température est égalisée au moyen de l'agitateur et les lectures faites au thermomètre.

Les courants mesurés varient en sens inverse des températures, ainsi qu'il était aisé de le prévoir en supposant

que la radioactivité est constante. Il faut remarquer en effet que, dans cet appareil, non seulement le sel a été échauffé, mais que tout l'air de la chambre a été porté à la même température. L'air se raréfie quand on chauffe l'enceinte, il utilise donc moins bien à chaud qu'à froid les rayons de la substance active, d'où la diminution de courant observé.

J'obtenais, par exemple, dans la série qui m'a paru la plus correcte, les résultats suivants (rapportés au courant à 14°) :

<i>t.</i>	Courant.
14°.....	1
104°.....	0,83
119°.....	0,76
123°.....	0,80
128°.....	0,69
140°.....	0,68

Les lectures sont moins concordantes et moins régulières que d'habitude, elles accusent cependant une diminution nette du courant quand la température s'élève.

Nous pouvons, d'après ce que nous avons dit plus haut, tenir compte, par un calcul simple, de la diminution du courant par suite de la raréfaction de l'air. Soient r le courant mesuré, R le courant total (correspondant à une absorption totale des rayons), nous avons vu qu'on peut écrire

$$\frac{r}{R} = 1 - e^{-\frac{\lambda}{\rho} \pi}$$

correspondant à l'absorption de l'air, π étant le poids à T d'une colonne d'air égale à la hauteur de la chambre. A T' , on aura, en supposant que le rayonnement total a pu prendre une autre valeur R'

$$\frac{r'}{R'} = 1 - e^{-\frac{\lambda}{\rho} \pi'}$$

et

$$\frac{r'}{R} = \frac{R'}{R} \frac{1 - e^{-\frac{\lambda}{\rho} \pi'}}{1 - e^{-\frac{\lambda}{\rho} \pi}},$$

où

$$\frac{\pi'}{\pi} = \frac{T}{T'}.$$

Le coefficient $\frac{\lambda}{\rho}$ n'est pas connu, ainsi que nous l'avons vu, mais on peut espérer avoir une estimation par excès en prenant la valeur 11,3.

En substituant dans l'équation précédente, on trouve pour $\frac{R'}{R}$ qui doit être égal à 1, si le rayonnement est indépendant de la température, les valeurs

$$1,12, \quad 1,10, \quad 1,11, \quad 1,10, \quad 1,03$$

avec un écart moyen de 10 pour 100 environ de l'unité. Ceci vient probablement de ce que le coefficient $\frac{\lambda}{\rho}$ choisi est trop fort. Il faut tenir compte aussi de la difficulté des mesures qui ne donnent guère que des résultats concordants à 4 ou 5 pour 100 près.

Si l'on admet que $\frac{R'}{R} = 1$, c'est-à-dire l'indépendance à la température, on peut substituer les valeurs de $\frac{r'}{r}$ et calculer $\frac{\lambda'}{\rho'}$ coefficient d'absorption pour l'air. C'est en substituant la valeur $\frac{\lambda}{\rho} = 7,5$ qu'on a pour $\frac{R'}{R}$ les valeurs s'écartant le moins, en moyenne, de l'unité. On trouve dans ces conditions

$$0,93 \quad 0,94 \quad 1,08 \quad 1,02 \quad 1,07.$$

Ce coefficient est mal déterminé, les mesures étant peu précises, d'autre part la fraction qui contient $\frac{\lambda}{\rho}$ varie peu pour de notables variations de cette quantité.

On peut donc dire, avec quelque certitude, que au $\frac{1}{10}$ près le rayonnement total doit être pratiquement indépendant de la température entre 14° et 140° .

Tel qu'il est, ce résultat ne me semble pas complètement dépourvu d'intérêt. Je me suis posé, au début de mes recherches, la question de savoir si les rayons de potassium ne proviennent pas de l'action de quelque cause étrangère : on pourrait penser à un effet Richardson de nature nouvelle, à grande pénétration, et commençant déjà à la température ordinaire. Quelque invraisemblable que soit *a priori* cette hypothèse, les résultats précédents la rendent encore plus difficile à soutenir.

Il aurait été désirable d'étudier le phénomène dans l'air liquide : j'ai cependant renoncé à cette recherche en considération de la difficulté qu'elle présente.

Dans une autre expérience, j'ai disposé sur la grille d'un grand bec Méker du chlorure fondu, de façon à avoir une grande flamme très plate chargée de sel et présentant une surface voisine de 100cm^2 ; au voisinage de la flamme une petite chambre d'ionisation, fermée seulement par une feuille d'aluminium battu, m'a servi à me rendre compte s'il y avait émission d'un rayonnement. Rien de semblable n'a été constaté malgré la haute température de la flamme.

Action de la lumière. — Les sels de potassium ne sont pas photo-électriques, c'est-à-dire que, dans les conditions où je faisais les mesures, le courant avait la même valeur, que le sel fût éclairé ou non par la lumière du jour, d'une lampe à incandescence ou d'une lampe Nernst. On sait que, dans certains cas et sous certaines influences (rayons cathodiques, ultraviolet), les sels de métaux alcalins subissent une réduction partielle qui les rend photo-électriques à un assez haut degré. Ce phénomène n'a rien à voir avec celui qui nous occupe.

Spontanéité du rayonnement. — Ce que nous venons de dire montre que le rayonnement du potassium n'est pas en relation avec la température et la lumière. Restent deux hypothèses plausibles : ou bien ce rayonnement est spontané et provient forcément d'une modification de l'atome de potassium, où il n'est que l'effet secondaire d'une radiation pénétrante comme celle de Cooke, ou comme celle qui a été invoquée autrefois pour essayer d'expliquer les rayons du radium. Si nous pouvions isoler une substance dérivée du potassium, nous pourrions admettre en même temps que l'émission est spontanée et que son énergie est empruntée à la transformation, mais tel n'est pas le cas.

Une importante observation de MM. Elster et Geitel semble peu favorable à une explication par un rayonnement secondaire ⁽¹⁾. Ces auteurs effectuant, à une époque où l'on ignorait la radioactivité du potassium, des mesures sur la radiation pénétrante du sol et de l'atmosphère poursuivirent leurs recherches dans les galeries de mines de sel gemme d'Hedwigsburg. Le rayonnement pénétrant dans les galeries de sel gemme est extrêmement faible, mais dès qu'ils se trouvèrent dans les couches de carnallite ils constatèrent la présence d'un rayonnement particulièrement intense. Ils se contentèrent à cette époque de penser que cette ionisation plus notable provenait de quantités plus fortes d'émanation issues du filon, ou d'autres produits de désintégration du radium. Actuellement, ils l'attribuent au rayonnement même de la carnallite.

D'autre part, si l'on admettait que les rayons du potassium sont des rayons secondaires de la radiation pénétrante, on devrait s'attendre à trouver, dans les me-

(1) ELSTER et GEITEL, *Phys. Zeitschr.*, t. VI, 1905, p. 733; t. XI, 1910, p. 275.

sures du courant corrigées de l'ionisation spontanée, des variations diurnes proportionnelles à celles de cette dernière. Il n'en est rien. L'ionisation spontanée subit en général dans une journée des fluctuations de 8 pour 100, quand on la mesure dans les appareils que j'employais, il arrive que ces fluctuations atteignent 20 pour 100, il ne se présente rien de semblable pour les mesures faites avec le sel, elles subissent quelquefois dans une journée des variations lentes que les différences de pression ou de température aux différentes heures suffisent à expliquer.

La spontanéité du rayonnement des métaux alcalins se présente donc avec un caractère d'assez grande certitude, mais on doit remarquer que même si ce rayonnement n'était que la manifestation secondaire d'une radiation inconnue, il ne s'en présenterait pas moins avec le caractère d'atomicité que nous lui avons reconnu.

Au reste, pour les rayons pénétrants que nous connaissons, c'est le plomb et les métaux lourds qui fournissent la plus grande quantité de rayons secondaires et les sels de potassium ne se comportent pas de façon singulière sous l'influence de ces radiations.

Rayons secondaires. — Les rayons du potassium se présentant avec les caractères généraux des rayons β on peut s'attendre à ce qu'ils donnent une émission secondaire en frappant un obstacle. C'est en effet ce que l'expérience m'a montré.

La partie supérieure d'une chambre d'ionisation pouvait être recouverte de feuilles métalliques de nature différente. On trouve les nombres suivants (ionisation corrigée du courant spontané en présence du métal qui sert à produire les rayons secondaires) :

Plomb.....	252
Étain.....	234
Aluminium.....	229
Carton.....	223

Les écrans se trouvaient placés à 20^{cm} au-dessus de la source de rayons. Les nombres permettent d'apercevoir une légère augmentation du courant mesuré lorsque le poids atomique de l'écran augmente.

Existence d'une émanation. — Je n'ai pu déceler, pas plus que les auteurs qui se sont occupés de cette question, aucune trace d'émanation dans les solutions de sels purs de potassium.

Le fait que le courant mesuré est le même à chaud qu'à froid est également une preuve qu'il n'y a pas de produit facilement volatilisable.

Nous avons vu également que la chauffe du sel à haute température ne modifie pas son rayonnement.

Dans le but de m'assurer s'il n'existait pas de produit volatil à durée de vie très courte, j'ai enfermé du sulfate dans une boîte plate recouverte d'une mince feuille d'aluminium laminé, et placé cette boîte dans la chambre d'ionisation. Il était possible d'y faire passer un courant d'air ou d'autres gaz, assez rapide pour qu'on pût espérer enlever rapidement, s'il s'en formait, une substance active volatile. Les courants mesurés ont été exactement les mêmes quand le courant de gaz passait, que quand il était interrompu.

MM. Elster et Geitel ont effectué la recherche d'une émanation, à l'intérieur même des galeries de mines de carnallite. Dans une vaste chambre creusée dans le filon, un fil de cuivre était tendu et porté à un potentiel négatif de 2000 volts par une pile sèche. Au bout de 18 heures, il était enroulé et porté dans une chambre d'ionisation. Il manifestait alors, une faible activité qui diminuait de moitié en 30 minutes comme la radioactivité induite de l'émanation du radium. Ils arrivaient donc à la conclusion qu'il n'existe vraisemblablement pas d'émanation particulière aux minerais de potassium.

M. Satterly ⁽¹⁾ a repris dernièrement cette question en effectuant un dosage précis d'émanation. Il prenait 200^g environ de sel dissous et laissait l'émanation s'accumuler pendant 6 ou 12 jours. L'émanation extraite provient de traces de radium et correspond en moyenne à $3,10^{-14}$ g de Ra par gramme de sel. D'après l'auteur, pour que l'activité du potassium fût explicable par le radium, il faudrait qu'il y fût présent en proportion 10 000 fois plus élevée.

Mesure en valeur absolue du courant débité par un sel de potassium. — Il suffit de faire cette mesure pour le sulfate, la comparaison des différents sels entre eux ayant été faite. Il importe de définir exactement la dimension et la nature des appareils employés, la valeur du courant différant avec la façon dont on utilise les rayons. La mesure a porté sur un échantillon chimiquement pur (Kahlbaum) réparti sur une surface de

$$36,8 \times 26,4 \text{ cm}^2$$

au fond d'une chambre d'ionisation haute de 30^{cm}. La boîte est faite de bois recouvert de papier d'étain. Le coefficient d'influence d'un condensateur dont on pouvait calculer la valeur à partir des dimensions géométriques (8,23) était employé pour la mesure en valeur absolue. L'armature isolée était reliée à l'électromètre et à la tige collectrice des ions, et l'on agissait sur elle par influence au moyen d'un élément Gouy.

La correction due à l'ionisation spontanée était, comme on l'a dit plus haut, soigneusement éliminée au moyen d'une chambre de compensation portée à un potentiel de signe opposé à celui de la chambre de mesure. Le résultat est la moyenne de plusieurs expériences concor-

(¹) SATTERLY, *Proc. Camb. Phil. Soc.*, t. XVI, 1911, p. 67.

dantes; il est probable qu'il est exact à 2 ou 3 pour 100 près. Comme ce résultat n'est valable que pour une chambre de dimensions déterminées, je ne pense pas qu'il y ait lieu de chercher à augmenter beaucoup la précision.

Je trouvais, en moyenne, dans ces conditions

$$2,72 \cdot 10^{-13} \text{ ampère,}$$

ce qui fait en moyenne par centimètre carré, la surface étant de 971 cm^2 , 5,

$$2,74 \cdot 10^{-16} \text{ ampère.}$$

Ce dernier résultat n'est valable qu'en moyenne, parce que les différentes parties de la surface, plus ou moins éloignées des parois, n'ont pas leurs rayons utilisés de la même manière. Il montre que les courants qu'on doit mesurer dans cette partie du travail sont assez considérables électrométriquement, à condition d'employer des surfaces étendues, et que les mesures sont susceptibles d'une certaine précision.

Impressions photographiques. — La méthode photographique a été, en raison de la facilité de sa mise en œuvre, employée par d'assez nombreux auteurs à l'étude de cette question. N. Campbell, Levin et Ruer ⁽¹⁾ et moi même avons effectué des radiographies nettes au moyen des sels de potassium. Strong ⁽²⁾ a également abordé la question par ce procédé.

Les poses varient entre 200 jours et 1 mois. J'ai obtenu des impressions nettes au bout de 28 jours par l'emploi de plaques Lumière marque violette. La figure 12 montre le dispositif employé. La plaque photographique

(1) LEVIN et RUER, *Phys. Zeitschr.*, t. IX, 1908. p. 248.

(2) STRONG, *Am. Chem. Journ.*, XLII, 1909, p. 147.

est entourée de deux feuilles de papier noir. Les cristaux de sel à étudier sont disposés sur la surface intérieure d'un demi-cylindre de laiton A et fixés par un peu de

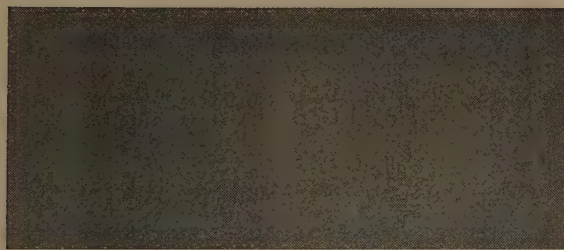
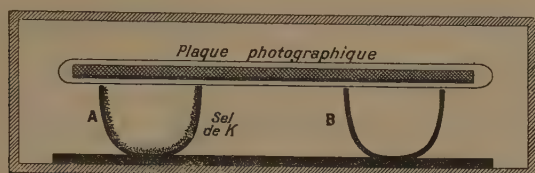


Fig. 12.

gomme arabique. Un autre cylindre de laiton B identique recouvert également de gomme arabique sert de témoin. La plaque enveloppée de papier est disposée au-dessus, et l'ensemble est enfermé dans une boîte bien close.

Malgré le caractère un peu qualitatif des résultats fournis par cette méthode, elle confirme dans l'ensemble, d'une manière parfaite, les résultats de la méthode électrométrique.

On sait par l'étude des rayons des substances telles que le radium, que l'ionisation, l'impression photographique et la fluorescence sur l'écran à sulfure de zinc vont toujours de pair. On pouvait donc espérer que les rayons produiraient quelque effet sur l'écran fluorescent. Je n'ai jamais pu mettre en évidence un tel effet qui doit être trop faible pour être visible, quoique j'aie essayé de

produire une concentration des rayons en plaçant l'écran au centre d'une demi-sphère tapissée de cristaux de sel de potassium. Je n'ai pu non plus apercevoir de scintillations en nombre appréciable au voisinage des composés en question; il ne doit donc pas y avoir production importante de rayons α . Du reste, une telle émission n'aurait pas passé inaperçue dans les mesures électrométriques qui l'auraient décelée avec bien plus de sensibilité.

TROISIÈME PARTIE.

LE RAYONNEMENT DU RUBIDIUM.

Historique. — Il était à prévoir, en raison de la proche parenté chimique du potassium et du rubidium, que ces deux métaux se comporteraient d'une manière semblable. Avec les substances fortement radioactives aucun rapprochement de ce genre ne peut être fait : on ne connaît pas deux éléments très actifs appartenant à la même famille chimique.

Ici, tout ce qui a été dit pour le potassium peut être répété pour le rubidium, au point de vue qualitatif, cependant l'intensité des rayons est plus intense et leur pénétration est moindre. Ils se présentent également avec les caractères des rayons β , ils sont assez pénétrants et assez facilement déviables par un champ magnétique. J'ai pu mettre en évidence une faible émission de charges négatives par les sels placés dans le vide.

N. Campbell ⁽¹⁾ a été le premier à reconnaître et à étudier ces rayons. Dans une courte Note, il donne quelques nombres relatifs à l'absorption des rayons par le sel lui-même. Buchner ⁽²⁾ a mis leur existence en évi-

(¹) CAMPBELL, *Proc. Camb. Phil. Soc.*, t. XIV, 1909, p. 11.

(²) BUCHNER, *Proc. Amsterdam*, juin 1909.

dence par la méthode photographique, ainsi que Strong dans l'article cité plus haut.

J'ai cherché à préciser la nature de ces rayons qui était restée assez mal connue à la suite des recherches effectuées précédemment et à retrouver le caractère d'atomicité du phénomène. J'ai également mis en évidence leur déviation facile dans le champ magnétique. Dans l'exposé de ce qui va suivre, je suivrai une marche parallèle à celle qui a été employée dans la partie précédente; les techniques employées ont été le plus souvent les mêmes.

Pénétration des rayons. — Les rayons du rubidium sont beaucoup moins pénétrants, dix fois environ, que les sels de potassium, à tel point que je me suis posé pendant longtemps la question de savoir si le rayonnement n'est pas composé en grande partie de rayons α . La question est assez délicate à résoudre à cause de la faible pénétration des rayons, néanmoins les courbes d'absorption que j'ai obtenues sont tellement différentes de celles qu'on obtient avec les corps possédant un rayonnement α que je ne pense pas qu'il subsiste quelque doute à ce sujet.

Absorption par le sel lui-même. — Comme pour le potassium, l'ionisation mesurée en présence d'un sel de rubidium dépend de l'épaisseur du sel lorsque celle-ci est faible, et qu'elle n'atteint pas une certaine limite, mais en raison de la facile absorption des rayons, cette limite est atteinte pour une couche très mince, d'une fraction de millimètre. Si l'on essaie, comme précédemment, de tracer la courbe du courant en fonction de l'épaisseur on se heurte à une assez grosse difficulté pour réaliser des couches homogènes et suffisamment minces,

J'y suis cependant parvenu, dans une certaine mesure, par le procédé suivant : Le sel à étudier, en l'espèce le sulfate, était dissous de façon à former une solution diluée.

Cette solution était ensuite projetée, au moyen d'un vaporisateur sur le plateau qui doit porter le sel et qui est chauffé à une température convenable; la solution s'évapore presque aussitôt. On prolonge l'opération jusqu'à avoir l'épaisseur désirée. Pour avoir la quantité de sel par centimètre carré, je le dissolvais dans un peu d'eau distillée et je le pesais après évaporation à sec. Le résultat était divisé par la surface totale. Malgré tout le soin que je prenais à réaliser des couches aussi uniformes que possible, j'hésite à accorder beaucoup de confiance aux nombres relatifs à des couches très minces, que je donne seulement à titre d'indication. Au contraire, les nombres relatifs aux couches les plus épaisses doivent donner une évaluation assez correcte du coefficient d'absorption par le sel.

Ici, plus encore que dans le cas des sels de potassium, il est important de mesurer le rayonnement de la substance placée directement dans la chambre d'ionisation, et sans interposer aucun écran absorbant. Il sera donc nécessaire d'observer les précautions relatives au renouvellement de l'air.

Les résultats sont résumés dans le Tableau suivant :

Poids de sulfate par cm ² .	$\frac{I_p}{I_\infty}$	$\frac{\lambda}{\rho} = \frac{1}{p} \log \text{nep} \frac{I_\infty}{I_\infty - I_p}$
0,152.....	1	
0,0231.....	0,88	94,3
0,0164.....	0,80	99
0,0147.....	0,759	97
0,0047.....	0,48	140
0,0016.....	0,22	158

(Voir fig. 13).

Avec 2^{dg} par centimètre carré, le courant maximum est atteint, avec 2^{cg} on a presque les $\frac{9}{10}$ du courant maximum. Les nombres de la dernière colonne sont peu constants, mais les deux derniers sont relatifs à des

couches de sel contenant seulement quelques milligrammes par centimètre carré, et qu'il est difficile de rendre bien uniformes. Ils constituent seulement une

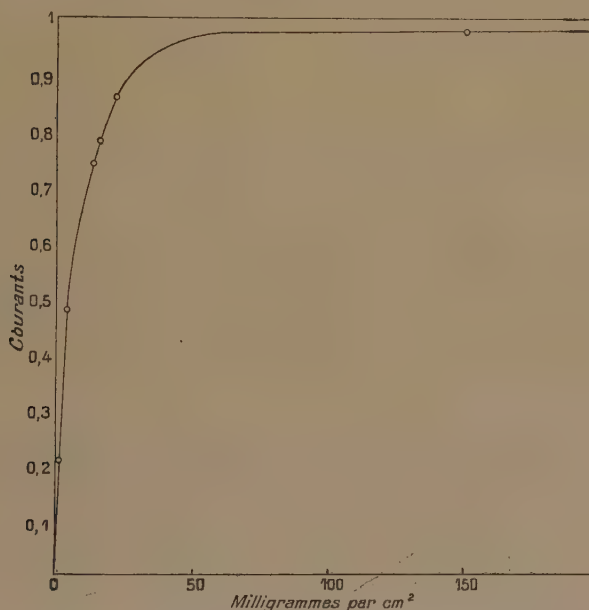


Fig. 13.

indication, mais ils ne doivent pas être considérés comme un argument contre l'homogénéité des rayons.

Le rapport $\frac{\lambda}{\rho}$, moyenne des trois premiers nombres

$$\frac{\lambda}{\rho} = 96,7,$$

doit être considéré comme le plus approché.

Absorption par les écrans. — Les premières mesures que j'ai faites ont porté sur l'absorption par des feuilles d'étain. Ici encore, une difficulté se présente, la première feuille d'étain absorbe, d'un seul coup, plus des $\frac{2}{3}$

de l'émission, en opérant avec de semblables écrans, on ne peut pas espérer avoir de renseignements précis sur la forme de la courbe d'absorption. Néanmoins, le graphique

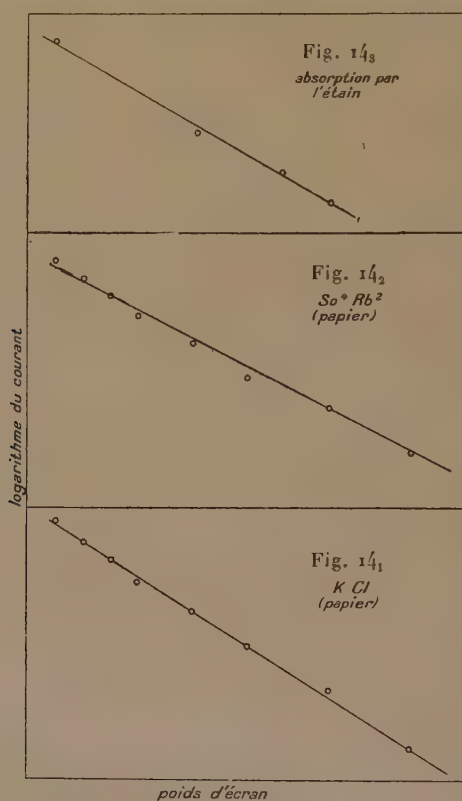


Fig. 14.

en coordonnées logarithmiques s'éloigne peu de la forme rectiligne. (Voir fig. 143.) Les résultats sont les suivants :

Poids d'écran par cm ² .	$\frac{I_p}{I_0}$	$\frac{\lambda}{p} = \frac{1}{p} \log \text{nep } \frac{I_0}{I_p}$
0		
0,00791.....	0,27	166
0,01261.....	0,145	152
0,01526.....	0,11	141

Les rayons manifestent une homogénéité passable. Comme dans le cas du potassium on peut cependant noter une diminution systématique du rapport $\frac{\lambda}{\rho}$ à mesure que l'épaisseur traversée augmente. Les rayons deviennent de plus en plus pénétrants à mesure qu'ils deviennent plus rares.

Les résultats sont beaucoup plus précis et plus certains que ceux de la méthode précédente, mais renseignent encore d'une manière assez imparfaite sur la forme de la courbe d'absorption, en particulier au début.

Comme il est difficile de se procurer ces grandes feuilles d'aluminium mince, j'ai préféré prendre comme écran du papier mince, de la consistance du papier à cigarettes, et qui paraît très homogène ⁽¹⁾.

La présence du potassium aurait pu altérer assez notablement le résultat, j'ai pris un échantillon de chlorure pur, et j'ai vérifié sa pureté par un dosage au chlorure d'argent. J'obtenais :

Ag Cl calculé.....	2 ^e , 396
» mesuré.....	2 ^e , 393

Les mesures effectuées par la méthode décrite précédemment m'ont fourni les nombres suivants :

Poids d'écran par cm ² .	$\frac{I_p}{I_0}$	$\frac{\lambda}{\rho}$
0		
0,00153.....	0,725	207
0,00305.....	0,545	198
0,00458.....	0,422	187
0,00764.....	0,260	176
0,0107.....	0,159	172
0,0153.....	0,087	160
0,0198.....	0,034	170

(¹) E. HENRIOT, *Comptes rendus*, 22 mai 1911.

On retrouve le même caractère de durcissement des rayons quand l'épaisseur traversée est plus grande. Une seule exponentielle ne suffit donc pas à représenter le phénomène, quoique le graphique en coordonnées logarithmiques soit assez rectiligne (*fig. 141*).

La formule à deux termes

$$\frac{I_p}{I_0} = 0,90 e^{-162p} + 0,10 e^{-950p}$$

représente bien le résultat des mesures. Voici les valeurs qu'elle donne au lieu des valeurs mesurées :

p .	$\frac{I_p}{I_0}$.
0,00153.....	0,725
0,00305.....	0,553
0,00458.....	0,429
0,00764.....	0,260
0,0107.....	0,158
0,0153.....	0,087
0,0198.....	0,034

Elle conduirait, comme dans le cas du potassium à admettre que la plus grande partie des rayons possède un coefficient d'absorption $\left(\frac{\lambda}{\rho} = 162\right)$ qui ne permet pas de les confondre avec les rayons α . Le rayonnement plus absorbable, par contre, a une pénétration du même ordre que les rayons α , il doit être presque complètement éteint au bout de quelques centimètres d'air. Il est fort difficile de se prononcer sur sa nature véritable : cependant ce que nous savons sur les sels de potassium donne à penser que là encore, on doit avoir affaire à un rayonnement β très mou, provenant peut-être d'un effet secondaire. La chambre d'ionisation est suffisamment haute pour que les deux rayonnements y soient absorbés en plus grande partie, par suite les fractions 90 et 10 pour 100 qui représentent leurs valeurs respectives, doivent correspondre

à leurs intensités totales et non seulement apparentes.

On voit donc que le rayonnement du rubidium comme celui du potassium est passablement homogène et que sa plus grande partie doit être vraisemblablement rangée dans les rayons β , sa pénétration étant du même ordre que celle des rayons β du radium.

Il était intéressant de voir comment se comportent les rayons de l'uranium dans des chambres de dimensions semblables, où l'on n'a pas l'habitude de les étudier, et de comparer aux résultats obtenus avec le rubidium.

J'ai trouvé les nombres suivants avec un échantillon d'oxyde d'uranium dilué dans l'oxyde de fer jusqu'à présenter une activité voisine de celle du chlorure de rubidium :

p .	$\frac{I_p}{I_0}$.
0	
0,00153.....	0,368
0,003056.....	0,277
0,00764.....	0,249
0,01528.....	0,232
0,03056.....	0,201
0,04584.....	0,172
0,06723.....	0,147

La figure 15 représente les courbes d'absorptions comparées pour l'uranium et le rubidium. La courbe relative à l'uranium présente un coude brusque correspondant à l'extinction des rayons α , et un changement de courbure considérable, l'inclinaison finale est relative aux rayons β . Si l'on prolonge cette dernière courbe jusqu'à l'axe des ordonnées on voit que les rayons β contribuent à l'ionisation dans une proportion atteignant presque 30 pour 100 ce qui semble très élevé. Ceci tient à deux causes :

1° Les rayons β sont mieux utilisés que dans les appareils de mesure ordinaire, puisqu'on laisse leur action s'exercer sur un parcours beaucoup plus long;

2° L'ionisation produite par les rayons α n'est certainement pas saturée avec les voltages dont je disposais, et cette circonstance tend à faire paraître leur proportion

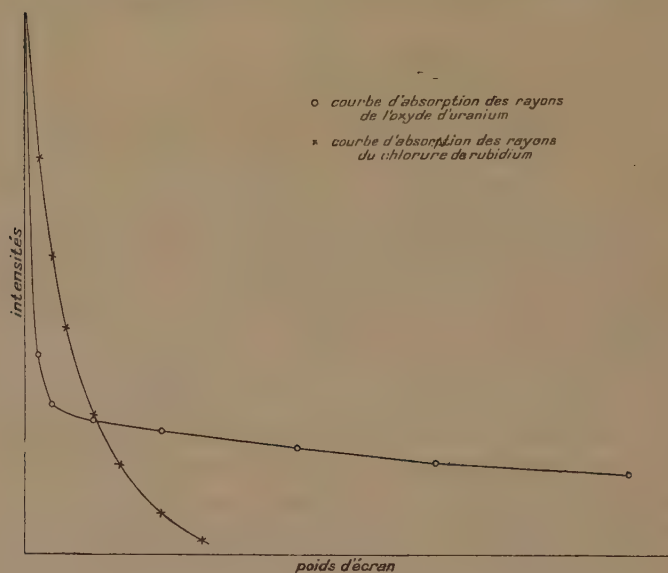


Fig. 15.

comme moins élevée. J'ai retrouvé cette valeur de 30 pour 100 avec d'autres échantillons de sels d'uranium notamment avec un spécimen de xénotime.

La courbe relative au rubidium ne manifeste aucun changement de courbure rapide et la comparaison de ces deux graphiques écarte définitivement l'idée que le rayonnement du rubidium puisse être attribué à des particules α .

J'ai répété les mêmes expériences avec un échantillon de sulfate pur auquel j'ai fait subir quelques cristallisations. Les petites quantités de produit dont je disposais m'ont rapidement limité dans cette voie. Pour me rendre compte de la pureté du produit final, je lui ai fait subir

à deux reprises, un dosage au sulfate de baryum. J'ai trouvé

SO ⁴ Ba calculé.....	1 ^g , 224
— mesuré.....	1 ^g , 248

La quantité de SO⁴Ba trouvée était trop forte, le poids atomique mesuré est donc inférieur à celui du rubidium de quelques pour 100, ce qui indiquerait, si l'on admet que l'impureté est due au potassium, la présence de 3,5 pour 100 de ce métal.

S'il se trouve de petites quantités de cæsium dans le sel, il ne modifiera pas la courbe d'absorption, car il ne donne pas de rayons; mais la présence du potassium doit modifier légèrement cette courbe.

Son influence doit porter surtout sur les derniers points qui correspondent à une intensité du rayonnement du rubidium réduite à quelques pour 100 de sa valeur initiale, le rayonnement du potassium étant encore peu absorbé en raison de sa pénétration plus grande. Les nombres trouvés présentent un petit écart systématique avec ceux fournis par le chlorure, et l'écart est bien dans le sens qu'on peut prévoir en admettant la présence de petites quantités de potassium.

p .	$\frac{I_p}{I_0}$.
0	
0,00153.....	0,760
0,00305.....	0,570
0,00458.....	0,454
0,00764.....	0,301
0,0107.....	0,186
0,0153.....	0,114
0,0198.....	0,060

On retrouve la même allure dans la variation de $\frac{\lambda}{p}$, la courbe en coordonnées logarithmiques (fig. 14₂) est moins rectiligne que celle du chlorure. Les petits écarts qu'on

observe disparaissent, si on les attribue à la quantité de potassium trouvée.

Nature du courant d'ionisation. — Le courant d'ionisation produit est bipolaire, comme dans le cas du potassium. Il est également d'une saturation facile comme le montre le Tableau de nombres qui suit, relatif aux résultats comparés du rubidium et de l'uranium :

Volts.	Courant pour SO ⁴ Rb ² .	Courant pour l'uranium.
4.....	0,299	0,110
8.....	0,492	0,281
91.....	0,944	0,776
184.....	0,973	0,862
254.....	1,010	0,921
441.....	1,010	0,972
600.....	1,00	0,983
762.....	1,00	1

Les courants sont rapportés à la valeur qu'ils ont pour 762 volts; pour cette valeur de la tension les courants de l'uranium sont toujours ascendants, ce qui donne à penser qu'on est encore loin de saturation, tandis que celle-ci est déjà totale pour le sulfate de rubidium à partir de 200 volts. L'allure de la courbe de saturation est donc nettement différente, ce qui nous donne encore à penser que le rayonnement du rubidium ne doit pas contenir de rayons α en proportion appréciable, comme l'oxyde d'uranium qui lui est comparé (voir *fig. 9*).

Déviation des rayons dans le champ magnétique. — On voit, d'après ce qui précède, qu'il existe une étroite analogie entre l'activité du potassium et celle du rubidium. Pour compléter cette analogie, il importe de voir comment ces rayons se comportent dans un champ magnétique.

L'appareil qui a été décrit plus haut, et qui m'a servi à mettre en évidence la déviation des rayons du potassium ne peut être employé ici en raison de la faible pénétration des rayons du rubidium.

Entre les pôles d'un électrode de Faraday, écartés à 16 cm de distance, je disposais une boîte de laiton de 18 cm de hauteur, et de $15\text{ cm},5 \times 24\text{ cm}$ de base (voir *fig. 16*). Le

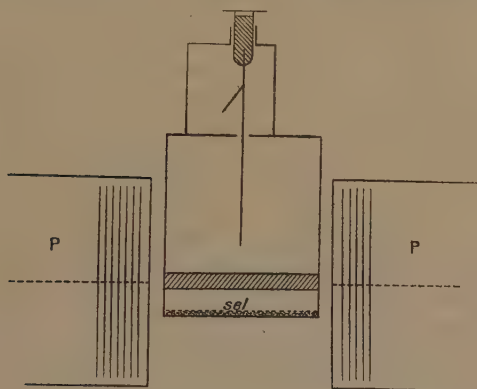


Fig. 16.

produit étudié était disposé sur un plateau recouvrant le fond de cette chambre d'ionisation et ses rayons, avant de parvenir à la partie supérieure de la boîte, traversaient l'intervalle compris entre une série de bandes métalliques verticales, hautes de $1\text{ cm},4$, écartées de $1\text{ cm},4$ et dont la partie inférieure se trouve placée à $2\text{ cm},4$ au-dessus de la surface libre du sel. La direction de ces bandes est parallèle au champ magnétique. Ce dernier aura donc pour effet de rabattre plus ou moins les rayons sur elles, et de faire varier l'ionisation à la partie supérieure de la boîte. L'intensité est mesurée au moyen d'un petit électroscope à feuille d'or ordinaire, dont la tige pénètre par un trou à l'intérieur de la chambre d'ionisation. Les lectures étaient faites au microscope et je notais le temps

nécessaire au passage d'une division à une autre, en présence et en l'absence du courant magnétisant; comme le champ est assez faible, si l'on a une variation notable de l'ionisation quand on envoie le courant dans l'électro, on sera en droit de penser qu'on a affaire à un rayonnement facilement déviable, c'est-à-dire à des rayons β .

L'effet est extrêmement net, lorsqu'on établit le champ, on supprime une fraction du rayonnement qui, dans les champs intenses, va jusqu'à 70 pour 100 du rayonnement total. Le sulfate de potassium dans les mêmes conditions donne également une variation du courant, mais qui atteint seulement 40 pour 100 : ses rayons sont donc moins facilement déviables en moyenne que ceux du rubidium, et cette constatation confirme les renseignements que nous avaient fournis les expériences sur la pénétration des rayons. Malheureusement, cette méthode ne donne pas de renseignements sur le sens de la déviation : la diminution du courant est la même quel que soit le sens du champ, mais d'après tout ce qui a été dit, il est peu douteux que les efforts constatés soient dus à des rayons β .

Le rayonnement est une propriété normale et atomique. — Comme précédemment se pose la question de savoir si le rayonnement appartient bien en propre au rubidium, et si des fractionnements ne feront pas varier la valeur de son activité. Dans le cas du potassium, on se procure facilement des produits en grande quantité, et l'on peut entreprendre des fractionnements assez prolongés. Ici, au contraire, la quantité dont je disposais n'était pas très supérieure à celle que nécessite une mesure du courant, ce qui limite beaucoup les expériences possibles dans ce sens. Néanmoins, je n'ai jamais constaté que la cristallisation des sels produisit une différence appréciable. De plus, les échantillons, qui m'ont

servi à établir l'atomicité du phénomène, ont des origines différentes et ont subi des traitements chimiques variés; malgré cette circonstance, ils ont tous des activités parfaitement comparables qu'il s'agisse d'anciens échantillons ayant séjourné pendant des années dans des collections, ou d'échantillons récemment préparés.

Pour vérifier la proportionnalité du rayonnement à la teneur, j'ai pris deux échantillons d'alun provenant de la collection du laboratoire de Chimie de l'École Normale, un échantillon de nitrate provenant de la maison Kahlbaum, le sulfate et le chlorure de la maison Poulenc, j'ai préparé l'iodure à partir du sulfate par double décomposition avec l'iodure de baryum.

Tous ces sels étaient séchés soigneusement, pulvérisés fin, et étendus en couche suffisamment épaisse pour que le courant maximum fût atteint. Quelques-uns d'entre eux sont très déliquescents, ce qui empêche de faire des mesures précises. On doit s'attendre aussi à ce que, les rayons étant peu pénétrants, les variations relatives du rapport $\frac{\lambda}{\rho}$ pour les différents sels prennent encore plus d'importance que dans le cas du potassium pour empêcher la proportionnalité d'être exacte.

Voici les nombres trouvés :

	Courant.	Teneur.	Rapport.
SO ⁴ Rb ²	459,6	64	71,8
Rb I	323,6	40,23	80,4
Alun (échantillon I). ..	102,0	16,4	62,19
AzO ³ Rb	374,7	57,92	64,6
Rb Cl	522,7	70,67	73
Alun (échantillon II). ..	102,7	16,4	62,6

Lorsque la teneur varie de 1 à 4, le rapport entre le courant et la teneur varie seulement de 62,19 à 80,4. Il y a donc proportionnalité approchée entre ces deux grandeurs. Il est vraisemblable que les causes accidentelles

dont nous parlions plus haut suffisent à expliquer les écarts.

Action de la température. — Le même appareil que celui employé pour les rayons du potassium a servi ici. On peut prévoir, d'après ce que nous savons déjà du rayonnement, que nous étudions ce qui se passera quand on le soumettra à l'action de températures croissantes.

Dans le cas actuel, ce rayonnement est contenu en majeure partie dans la chambre d'ionisation, on peut donc prévoir qu'une raréfaction de l'air aura moins d'influence sur le courant mesuré, et que la décroissance de l'ionisation qui se manifeste pour des températures croissantes sera peu marquée. C'est en effet, ce qui se produit, le courant entre 28° et 142° tombe seulement aux $\frac{82}{100}$ de sa valeur initiale, tandis que dans le cas du potassium, il tombe aux $\frac{68}{100}$ de sa valeur. Les nombres fournis par l'expérience sont les suivants :

Température.	Courant.
28..... ⁰	276
46.....	265
53.....	267
108.....	240
114.....	242
122.....	236
130.....	229
132.....	227
135.....	228
142.....	226

Si l'on fait la correction de diminution de pression, on voit qu'elle atténue fortement cette décroissance, et qu'on peut en conclure qu'il y a indépendance à la température entre ces limites.

Ces expériences, où l'on fait intervenir la température

dans des phénomènes d'électrostatique, sont toujours assez délicates, c'est pour cette raison que les recherches faites par différents auteurs pour savoir si l'effet Hertz du zinc est indépendant de la température, ont conduit à des conclusions contradictoires, et que nous attendons encore une réponse définitive à cette question.

Les sels de rubidium, ne sont pas sensibles à la lumière et ne fournissent pas d'émanation.

En résumé toutes les expériences effectuées sur le rubidium donnent des résultats parallèles à ceux du potassium et conduisent à admettre que l'émission est constituée par des rayons β peu pénétrants, leur pénétration étant du même ordre de grandeur que celle des rayons β du radium.

Mesures en valeur absolue de la valeur du courant. — Le courant débité par les sels de rubidium est plus intense que celui débité par les sels correspondants pour le potassium, une surface de $36^{\text{cm}},8 \times 26^{\text{cm}},4$ de sulfate occupant le fond d'une boîte parallélépipédique de 30^{cm} de hauteur, y débite un courant de saturation égal à

$$3,52.10^{-13} \text{ ampère,}$$

ce qui donne en moyenne, par centimètre carré un courant de $3,64.10^{-16}$ ampère. Ces nombres ne sont valables que pour une chambre d'ionisation de la dimension et de la forme indiquées. Ils ont été trouvés par la même méthode que celle qui a servi précédemment.

Impressions photographiques. — L'examen des sels de rubidium par la photographie a été faite par Buchner⁽¹⁾ et Strong⁽²⁾. Le dernier de ces auteurs a obtenu

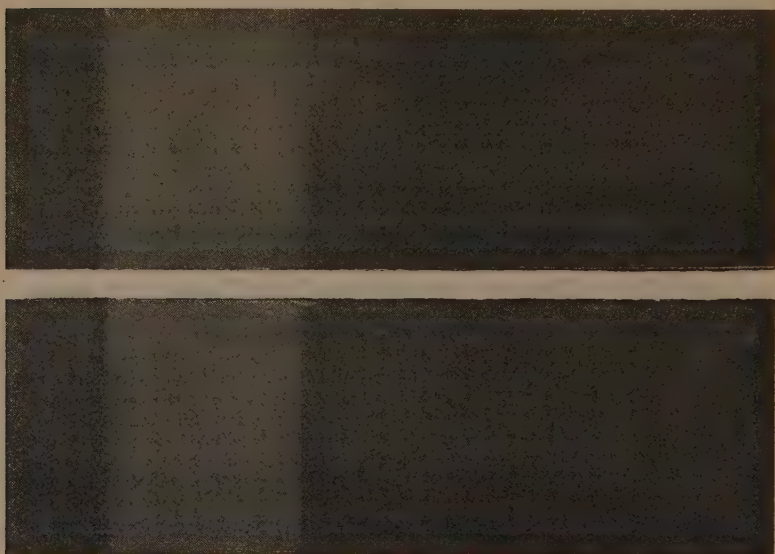
(¹) BUCHNER, *Proc. Amsterdam*, juin 1909.

(²) STRONG, *Phys. Review*, août 1909.

une impression photographique par le chlorure et le chlorate au bout de 110 heures seulement.

J'ai moi-même obtenu des photographies nettes au moyen du dispositif décrit précédemment, mais en interposant un papier noir assez épais pour éliminer les actions parasites. Ces radiographies sont reproduites dans la figure 17. Elles ne laissent aucun doute sur l'activité

SO^4Rb^2 .



Rb Cl. Fig. 17.

des rayons du rubidium. Le temps de pose a été de 90 jours ⁽¹⁾.

Je n'ai pu constater aucune fluorescence sur l'écran à sulfure de zinc, et pas de scintillations pouvant être un indice de la présence de rayons α .

(¹) Dans la reproduction, les radiographies se détachent en blanc sur fond noir.

La radioactivité est-elle une propriété commune aux métaux alcalins? — Le potassium, le rubidium et le cæsium sont très proches parents, autant et plus peut-être que le calcium, le strontium, le baryum et le radium, mais ni dans l'une, ni dans l'autre de ces deux familles, la radioactivité ne se manifeste comme une propriété commune à tous les éléments de la série.

Cela peut tenir à un manque de sensibilité des méthodes que nous avons à notre disposition, et nous avons vu quelles sont les causes parasites qui limitent cette sensibilité. Il se peut aussi que cette radioactivité n'existe pas pour tous les éléments. Prenons le cas du potassium, son coefficient d'absorption $\frac{\lambda}{\rho}$ est égal à 14, pour le rubidium ce coefficient est égal dans les mêmes conditions à 162, c'est-à-dire plus de dix fois supérieur. Si l'on admet, par analogie que le cæsium possède des rayons β , et qu'en passant du rubidium au cæsium, le coefficient d'absorption augmente dans les mêmes proportions, il deviendrait égal à 1800, c'est-à-dire que les rayons deviendraient moins pénétrants que les rayons α . On ne connaît pas de rayons β aussi peu pénétrants.

Je n'ai pu trouver effectivement en présence de sels de cæsium, aucun accroissement notable de l'ionisation, et je n'ai pu mettre aucun effet photographique en évidence. Si de tels rayons lents existent, on peut espérer s'en rendre compte en cherchant s'ils se manifestent dans le vide par leur charge propre. Cette recherche m'a donné un résultat négatif. Le thallium non plus ne donne rien.

Dans la série potassium-rubidium-cæsium, l'augmentation du poids atomique semblant diminuer la vitesse avec laquelle les rayons β sont émis, on serait tenté de rechercher dans le lithium et le sodium une émission de rayons β rapides : je n'ai rien trouvé de semblable. On doit

du reste remarquer qu'à énergie égale, les rayons trop rapides comme les rayons trop lents ne sauraient être mis en évidence dans une chambre d'ionisation de dimensions restreintes, parce qu'on n'en utiliserait qu'une trop faible portion, ils ne donneraient pas non plus d'impression photographique.

Sur l'existence de ces rayonnements, nous en sommes donc réduits aux hypothèses, il est douteux que la question puisse être solutionnée avec les techniques que nous possédons aujourd'hui. Relativement au mécanisme de l'activité de K et Rb, nous ne pouvons également faire que des suppositions. Les éléments alcalins se comportent d'une façon assez remarquable dans la courbe de Lothar Meyer, obtenue en portant en abscisses les poids atomiques, et en ordonnées les volumes. Ils occupent des sommets très aigus sur cette courbe, sans qu'on puisse voir comment le fait d'avoir un volume atomique élevé pourrait être une cause d'instabilité.

La table des poids atomiques dans la disposition de Mendéléeff présente une inversion entre le potassium (39,10) et l'argon (39,88), il est cependant douteux que ce fait soit en relation avec l'activité du premier élément parce que cette anomalie ne se retrouve pas pour le rubidium (85,45) et le krypton (84,9).

Dans la série des corps fortement radioactifs, l'existence d'un poids atomique très élevé est une condition *nécessaire* de la radioactivité. Ici, l'augmentation du poids atomique est plutôt défavorable à l'émission de rayons β : il n'est donc pas déraisonnable de conclure que les deux phénomènes doivent avoir une cause profonde différente : lorsque nous aurons des renseignements plus précis sur le mécanisme de tous ces phénomènes, il est possible que l'on ne puisse qualifier les métaux alcalins de *radioactifs* qu'à la suite d'une extension de ce terme.

QUATRIÈME PARTIE.

ÉMISSION DE CHARGES DANS LE VIDE.

Cette dernière Partie de mon travail se partagera en deux Chapitres, le premier relatif à l'émission de charges par les métaux, le second relatif à l'émission de charges par les sels.

Émission de charges par les métaux.

Ce genre de recherches est très délicat, car on se trouve aux prises avec une triple difficulté :

- 1^o Réalisation de vides élevés et obtention de surfaces métalliques convenables;
- 2^o Protection électrostatique minutieuse à l'intérieur des cellules à vide;
- 3^o Protection contre la lumière, dont les moindres traces perturbent complètement le phénomène.

Les phénomènes parasites qu'on obtient en négligeant une de ces trois précautions sont d'un ordre de grandeur tel qu'ils masquent complètement le véritable effet à mettre en évidence.

Ceci explique comment les différents auteurs qui ont cherché à étudier ces faits ne se sont pas toujours trouvés d'accord sur l'ordre de grandeur à leur attribuer. Je vais résumer rapidement les efforts qui ont été faits dans ce sens, et j'exposerai en détail les méthodes que j'ai employées et les résultats qu'elles m'ont fournis.

Historique. — C'est J.-J. Thomson qui a fait le premier, avant que la radioactivité des métaux alcalins ne

fût connue, la constatation que ces métaux, dans le vide, produisent une petite émission de charges négatives, même lorsqu'ils sont placés dans l'obscurité ⁽¹⁾. Ses expériences ont porté sur le rubidium et l'alliage liquide sodium-potassium.

L'auteur place un électroscope à feuille d'or isolé au quartz, dans un ballon de verre, au-dessus de la surface du métal alcalin. On pouvait charger l'électroscope de l'extérieur. Le tube était vidé par l'air liquide et le charbon de bois.

Pour pouvoir repérer la position de la feuille à travers le verre et faire des mesures de courant, il était nécessaire de l'éclairer, au moins momentanément. Il fallait éviter que cet éclairage ne fût la cause d'une émission photo-électrique notable, on n'admettait donc que de la lumière tamisée par un verre rouge, et cela juste pendant le temps nécessaire aux mesures. L'ensemble des appareils était placé dans une boîte noircie, traversée par le microscope de lecture, dont on pouvait obturer complètement l'oculaire dans l'intervalle des pointés. Quand l'électroscope est chargé positivement, il accuse une faible déperdition, cette déperdition est nulle dans le cas d'une charge négative. L'introduction de petites quantités d'hydrogène augmentait l'effet dans de notables proportions, mais au bout de quelque temps le courant reprenait sa valeur initiale. L'effet de décharge était complètement arrêté par un champ magnétique transversal.

Il est regrettable que, dans la cellule photo-électrique, la protection électrostatique n'ait pas été assurée, mais dans cette disposition d'appareil ce n'est qu'un inconvénient secondaire qui ne doit pas faire douter du résultat.

Ernst Muller reprit ces expériences pour décider s'il s'agissait d'un effet spontané ou au contraire d'un

(1) J.-J. THOMSON, *Phil. Mag.*, t. X, 1905, p. 584.

effet photo-électrique provenant de rayons infrarouges tombant sur le métal. Ses expériences portèrent sur l'alliage liquide NaK. Reprenant d'abord un dispositif analogue à celui de J.-J. Thomson, il retrouva l'existence du phénomène.

Il construisit ensuite une cellule photo-électrique indépendante de l'appareil de mesure (électromètre). L'organe récepteur des ions est un petit plateau placé au-dessus de la surface étudiée et porté par une tige isolée, avec anneau de garde. L'ensemble est mastiqué sur le verre de la cellule qui porte plusieurs rodages. La protection électrostatique de la tige et du plateau n'était pas assurée à l'intérieur de la cellule, l'auteur s'est aperçu du grave inconvénient que cela présente, il se propose de faire construire un autre modèle où ce reproche sera évité. Les rayons calorifiques, produits par une lame de platine chauffée électriquement vers 360° et placée au voisinage de la cellule, viennent tomber sur elle et Ernst Muller trouve un effet marqué de ces rayons.

L'auteur obtient un déplacement du spot de 1^{cm} dans des temps de l'ordre de la minute, c'est-à-dire un courant assez notable.

Pour préciser l'ordre de grandeur du phénomène, L. Dunoyer ⁽¹⁾ emploie une cellule photo-électrique à rubidium. L'organe collecteur des ions est une tige fixée par une soudure de platine. Il obtient des courants assez intenses, et qui ne présentent pas le caractère unipolaire, ce qui rend difficile l'évaluation du flux de charges négatives. Il n'y a pas saturation du courant et l'intensité mesurée est

pour 50 volts au métal	$0,8 \cdot 10^{-14}$	ampère
110	»	$60,4 \cdot 10^{-14}$ »

L'auteur se demande si le phénomène observé ne

(1) L. DUNOYER, *Comptes rendus*, 7 février 1910.

s'expliquerait pas par l'action sur le métal du rayonnement calorifique d'équilibre existant à la température ordinaire à l'intérieur de l'enceinte où est placé le métal, et il met en doute l'hypothèse de J.-J. Thomson qui invoque une explosion spontanée des atomes, analogue à la destruction des atomes radioactifs.

J'ai abordé la question avec deux dispositifs expérimentaux : dans le premier la cellule photo-électrique est distincte de l'appareil de mesure, dans le second l'électroscope est placé, comme dans le dispositif de J.-J. Thomson, à l'intérieur même de la cellule.

Premier dispositif. — Le fait d'employer un appareil de mesure distinct de la cellule présente l'avantage qu'on n'a pas besoin d'envoyer sur cette dernière de la lumière pour faire les lectures.

Il importe en effet de la placer dans une chambre noire ne laissant entrer aucune trace de lumière, car les cellules employées présentent une grande sensibilité au moindre éclaircissement par les sources de lumière usuelles. Dans les dispositifs des Mémoires cités plus haut, les tiges de connexions traversent la paroi de la chambre noire par de petits orifices, et il est à craindre que la lumière n'utilise le même chemin. Pour être complètement rassuré sur ce point, j'ai placé la cellule dans une boîte complètement close, et les tiges de connexions sont mastiquées, à l'endroit où elles traversent la paroi, dans des isolants en ébonite. L'ambre serait préférable, mais il a l'inconvénient d'être transparent; l'ébonite, quand elle est bien sèche, est d'ailleurs un excellent isolant. La boîte est peinte en noir intérieurement, les bords du couvercle sont garnis de feutre pour obtenir une fermeture bien étanche à l'éclaircissement. Pour me rendre compte de la sensibilité à la lumière, je ménageais sur le côté un orifice qui pouvait être fermé pendant les mesures et sur lequel

on pouvait faire tomber les rayons d'une lampe à incandescence. On obtient encore un effet photo-électrique notable, en allumant une lampe de 16 bougies à 3^m, et en diaphragmant l'orifice jusqu'à ce qu'il n'ait plus que la dimension d'un trou d'épingle.

Préparation d'une cellule photo-électrique. — J'ai tenu à éviter également toute espèce de masticage et de rodage dans la construction de mes cellules : ceci interdit l'emploi des isolants tels que le quartz, ou l'ambre qui ne peuvent se souder au verre. La chose est cependant possible en utilisant l'excellent dispositif indiqué par M. Dunoyer, et qui consiste à isoler la tige réceptrice des charges au moyen d'une perle de cristal. Cette dernière

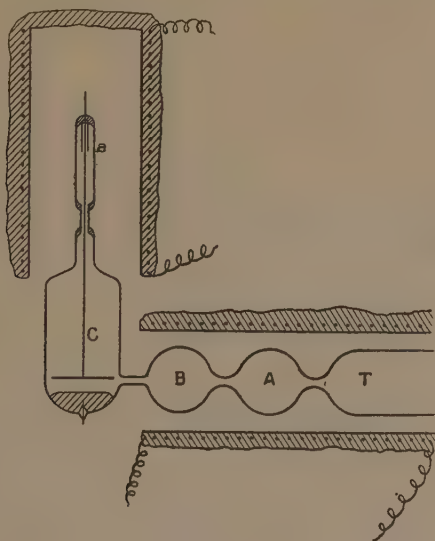


Fig. 181.

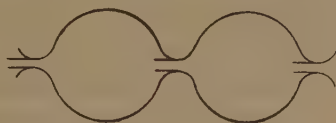
est fondue sur un cylindre de garde en platine relié au sol qui est lui-même soudé sur le verre de l'appareil. La disposition que j'ai adoptée est indiquée par la figure 181.

La tige, pour améliorer son isolement, est soudée au bout d'un assez long tube de verre dont l'autre extrémité est fixée à l'anneau de garde. Elle se termine par un petit plateau d'aluminium placé en face du métal. Celui-ci est en contact avec un fil de platine qui traverse la paroi inférieure de l'appareil et qui permet de le mettre en relation avec une tension négative. Avec ces isolants cristal-verre, il est nécessaire de dessécher soigneusement la chambre où la cellule est placée, à cause du pouvoir hygrométrique de ces substances. La partie qui porte l'isolant a été lavée intérieurement avec soin à l'acide chromique et à l'eau distillée.

Les métaux, potassium ou rubidium, étaient redistillés deux fois avant leur introduction. Pour cela le métal est placé dans le tube T qui est scellé immédiatement. La cellule a été mise préalablement en communication avec une trompe à mercure à grand débit et elle est épuisée rapidement. Pendant que le vide se fait, tout l'appareil est chauffé, aussi énergiquement qu'il est possible, au moyen d'un Bunsen pour chasser l'humidité et les gaz des parois. Comme cette opération serait dangereuse pour les soudures de platine de la partie supérieure, cette dernière est chauffée, pendant toute la durée de l'opération à 400° au moyen d'un petit four électrique constitué par une spirale de nickel entourant un tube de laiton, avec interposition d'amiante. Cette précaution a un autre but : au moment de la distillation, il serait à craindre que la vapeur métallique ne vint se déposer sur la surface interne du tube *a*, et n'en compromît l'isolement.

On laisse fonctionner la trompe en chauffant constamment le tube jusqu'à ce qu'une nouvelle chauffe ne fasse plus diminuer le degré du vide, et que ce dernier, mesuré à la jauge, atteigne une valeur élevée, $\frac{1}{10000}$ de millimètre au moins. Pendant toute cette opération le métal est maintenu fondu et l'on facilite, par de petits choocs, le

dégagement des bulles de gaz qu'il contient. Cette première partie du travail est assez longue, et demande souvent une journée ou davantage. Lorsqu'elle est terminée, on commence à chauffer le tube T au moyen d'un

Fig. 18₂.

four électrique à spirale de nickel, dont on suit la marche au moyen d'un couple platine-platine iridié, et d'un micro-ampèremètre. On distille lentement le métal du tube T dans le tube A, puis, en avançant le four de A en B, enfin de B dans la cellule C. Après cette opération, l'ensemble des tubes T, A, B est séparé par scellement. La distillation a eu pour effet, surtout dans le début, de faire remonter légèrement la pression. La trompe est laissée constamment en fonctionnement et le métal chauffé assez énergiquement pour provoquer sa volatilisation partielle sur les parois. Lorsque le vide se maintient, même à chaud, on laisse refroidir d'abord la partie inférieure du tube, puis la partie supérieure en arrêtant le fonctionnement du four électrique qui l'entoure. Enfin la cellule est séparée de la trompe par scellement lorsque le vide cesse d'être mesurable à la jauge.

Dans un appareil ainsi préparé, le vide est suffisamment poussé pour qu'on soit à l'abri de l'ionisation par choc. Quand on l'expose à l'action de la lumière, le courant obtenu, n'est pas rigoureusement unipolaire parce qu'une partie du métal photo-électrique est venu se déposer sur le plateau, mais l'effet bipolaire est très peu marqué, même pour de fortes tensions. Il est en effet indispensable, si l'on veut préciser l'ordre de grandeur du phénomène, de se mettre à l'abri de l'ionisation par choc.

Le rubidium employé était préparé par le procédé de M. Hackspill qui m'en a indiqué les détails avec une obligeance dont je suis heureux de le remercier. La technique de M. Hackspill consiste à réduire le chlorure alcalin par le calcium vers 700° . Le calcium est mis en grand excès, cinq ou sept fois le poids théorique nécessaire à la réaction



Il est employé sous forme de tournure; tel qu'on le trouve dans le commerce. Le chlorure de rubidium doit être fondu préalablement, pulvérisé fin dans un mortier chaud, et mélangé intimement au calcium. Le tout est introduit dans un cylindre de fer qu'on glisse dans un tube de verre vert, et qui a pour but de soutenir celui-ci lorsqu'il se ramollit sous l'action de la chaleur (voir *fig. 19*).

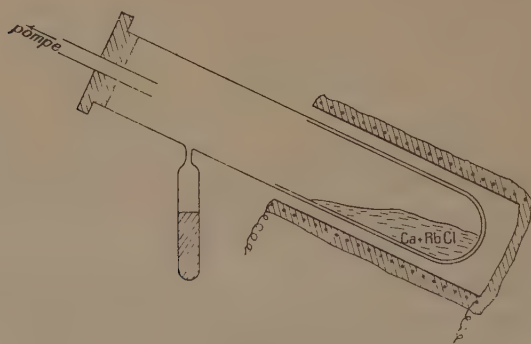


Fig. 19.

L'appareil est relié à une trompe à mercure, et la partie qui contient le mélange chauffée dans un four à résistance jusqu'à la température de réaction (650° – 700°). Le tube de verre est incliné pour que le métal ne puisse sortir qu'en distillant, on le recueille dans un tube de verre

latéral qu'on sépare par scellement à la fin de l'opération. Ce procédé donne un rendement presque quantitatif.

; L'alliage liquide sodium-potassium est préparé en fondant, sous l'éther de pétrole, dans la proportion de leurs poids atomiques, une petite quantité de ces deux métaux. Comme on ne peut pas l'introduire par distillation dans la cellule en raison de la volatilisation difficile du sodium, on le fait pénétrer en le filtrant, sous le vide, à travers une série de boules munies d'entonnoirs (*fig. 18₂*), suivant la technique d'Elster et Geitel. Pour arriver à ce résultat, je réunissais la cellule et les boules à la canalisation de la trompe par l'intermédiaire d'un bon rodage cylindrique, autour duquel on peut les faire pivoter même quand le vide est fait. Lorsqu'on a pris les précautions indiquées plus haut pour obtenir un bon dessèchement, on fait basculer l'appareil autour du rodage et l'alliage liquide vient filtrer dans les entonnoirs et s'arrêter dans la cellule où il arrive avec une surface nette.

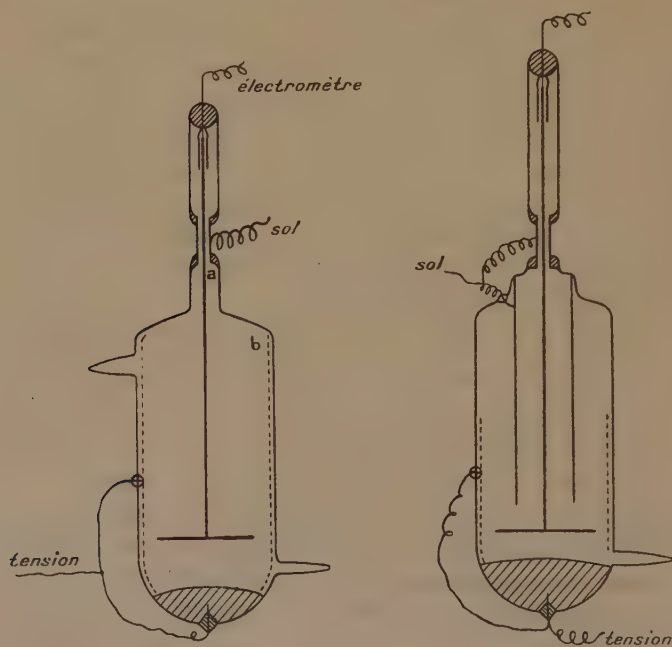
Les mesures sont faites autant que possible, dès que la cellule vient d'être terminée, et poursuivies pendant quelques jours.

Dans le modèle de la figure 18₁, aucune protection électrostatique n'a été prise contre les charges possibles recouvrant la paroi isolante, à moins qu'on admette que le voile de métal alcalin qui s'est déposé sur le verre puisse assurer cette protection. Nous verrons dans ce qui suit l'insuffisance de ce dispositif et les améliorations dont il est susceptible.

Méthodes de mesure et résultats. — Les courants sont mesurés au moyen d'un électromètre sensible et l'évaluation des valeurs absolues est obtenue par l'emploi d'un condensateur de coefficient d'influence connu. J'ai également fait usage d'un électroscope Wilson rendu aussi sensible que possible.

La surface couverte par le métal est de l'ordre d'une dizaine de centimètres carrés.

Si l'on met une tension négative au métal, l'électromètre manifeste tout d'abord un courant considérable et qui diminue rapidement. Cet effet est tellement intense au début que les mesures sont difficiles. Il se manifeste encore avec intensité si l'on renverse le signe de la tension mais en sens inverse. L'effet est dû à un effet d'influence

Fig. 20₁.Fig. 20₂.

produit par les déplacements de charges le long des parois du verre sur la face interne, et probablement surtout sur la face externe. Le dispositif de la figure 18₁ est donc complètement inutilisable pour ce genre de recherches, et je l'ai abandonné au premier essai.

Je pensais améliorer suffisamment la protection électrostatique au moyen d'une toile de platine, reliée à la même tension que le métal alcalin et recouvrant la paroi du tube dans sa partie cylindrique (*fig. 20,*). On obtient une amélioration notable, mais insuffisante. Il se produit encore des déplacements de charges dans la région *ab*, comprise entre l'anneau de garde et la toile, sous l'influence de la tension à laquelle se trouve placée celle-ci. Si, par exemple, on met la tension (180 volts), on observe les résultats suivants :

	Courants apparents.
à ^{h m} 4.26	1130
4.30	606
4.47	263
4.53	94
5.16	37
5.55	10

Ayant mis ensuite 630 volts de tension, les courants reprenaient une valeur élevée :

	Courants apparents.
à ^{h m} 6.7	3430
6.35	250
6.58	65
7.10	45
7.25	29

Le courant apparent diminue donc très rapidement au début et plus lentement à la fin. Ma première idée était que cette décroissance plus lente provenait de ce que les perturbations électrostatiques sont à peu près terminées par suite d'un régime permanent s'établissant dans les courants de perte le long du verre, et que les nombres de la fin correspondent à une émission réelle.

Il est aisé de voir qu'il n'en est rien. La diminution se prolonge encore pendant des heures jusqu'à ce que le courant devienne trop petit pour une mesure,

Ceci ne vient pas de mauvais contacts entre la toile ou le métal, et les tiges de platine, car les mêmes effets se sont reproduits dans une autre cellule construite sur le même type, et ils ont été supprimés avec une protection électrostatique meilleure. Les résultats précédents montrent que, quand on ne prend pas des précautions électrostatiques minutieuses, on constate la présence de courants apparents qui peuvent induire en erreur l'observateur.

En effet, dans la disposition particulière de ces cellules, la diminution des courants apparents est rapide, il est possible que dans une autre disposition d'électrodes on ait un courant qui décroisse beaucoup plus lentement et qui donne l'illusion d'un courant constant.

On peut trouver une variation analogue dans les nombres que donne Ernst Muller pour établir l'effet des rayons infrarouges sur l'émission. Citons les nombres de son Mémoire, pour une série de mesures croisées :

Sans rayons infrarouges.....	53	61	68	66	69	79	sec.
Avec rayons infrarouges.....	44	53	55	52	59	61	»

puis il augmente la tension de 2 volts, et trouve une augmentation brusque du courant qui va en s'atténuant :

Sans.....	64	75	81	67	72	sec.
Avec.....	50	51	52	49	48	»

puis, pour une nouvelle augmentation de 2 volts, nouvelle augmentation du courant qui va en s'atténuant :

Sans.....	28	35	41	47	49	32	37	35	sec.
Avec.....	13,5	18,5	21	24	25	20	14,15	10	»

La cellule de M. Ernst Muller ne contient aucune protection électrostatique, la répartition de charges sur le

verre se fait donc sur toute la longueur de la cellule, elle doit être plus lente et donner davantage l'impression d'un courant constant. En fait, l'inspection des nombres montre, à part de rares exceptions, une augmentation systématique nette du nombre de secondes après établissement de la tension, par suite une lente diminution du courant avec le temps.

Ernst Muller a reconnu lui-même la nécessité d'une protection électrostatique plus parfaite, et je ne pense pas qu'il y ait lieu de tirer des conclusions définitives de mesures faites dans ces conditions.

Il est bien évident qu'avec des courants intenses comme ceux que fournit l'effet photo-électrique dans les conditions habituelles, l'inconvénient que nous signalons serait peu de chose, et qu'on pourrait faire des mesures parfaitement correctes avec des protections électrostatiques aussi médiocres que celles qui ont servi dans les précédents appareils. Des précautions plus grandes ne sont nécessaires que lorsqu'on veut mesurer des courants qui sont à la limite de sensibilité des mesures électrométriques.

Un autre effet parasite qui se produit lorsque la protection est insuffisante, et ne se produit plus dans le modèle que nous décrirons est le suivant : lorsqu'on a fait un essai sur le pouvoir photo-électrique de la cellule (par exemple pour charger l'électromètre et vérifier l'isolement) en admettant de la lumière par l'orifice latéral de la chambre, on constate après interruption de l'éclairage, que la cellule se souvient pendant très longtemps d'avoir reçu de la lumière. Pour éviter toute cause perturbatrice provenant de l'introduction d'humidité ou de renouvellement de l'air dans la chambre noire, l'orifice était constamment clos par un morceau de verre à travers lequel passait la lumière et qu'on démasquait, au moyen d'un bouchon d'ébonite, au moment d'admettre celles-ci. Je pense que cet effet ne peut guère s'expliquer qu'en

admettant que les gouttelettes de métal collées sur le verre se chargent en recevant les rayons lumineux et se déchargent lentement dans l'obscurité en donnant des effets d'influence sur l'organe isolé qui occupe le centre de la cellule.

Malgré les inconvénients provenant de la protection électrostatique médiocre des cellules dont je viens de parler, 8 ou 10 heures après qu'on a établi la tension, les courants parasites prennent une valeur extrêmement faible, et l'on peut tirer de leur mesure une limite supérieure de l'effet J.-J. Thomson dans ces conditions. Je trouvais, dans le cas du potassium, de l'alliage liquide et du rubidium, que s'il existe un effet, il doit être inférieur à

$$0,71 \cdot 10^{-15} \text{ ampère}$$

pour une surface de 10^{cm^2} environ.

J'ai employé ensuite une cellule où tous les effets parasites étaient évités, en ajoutant un tube d'aluminium (*fig. 20₂*) qui entoure la tige centrale dans toute la région où elle peut être soumise à l'influence du verre. Avec ce dispositif, même immédiatement après avoir mis la tension, je ne constatais plus à l'électromètre la présence d'aucun courant de valeur telle que je puisse en affirmer l'existence, ceci même avec des surfaces de rubidium manifestant une très grande sensibilité aux moindres traces de lumière. Je n'ai pu obtenir, avec une telle cellule, dans l'obscurité, de courant atteignant 1^{cm} à l'heure et ceci donne comme limite supérieure

$$0,3 \cdot 10^{-15} \text{ ampère (avec 630 volts de tension).}$$

De tous les résultats qui précèdent je pense qu'on peut conclure que l'effet J.-J. Thomson, s'il existe, ne doit pas donner, dans les conditions habituelles de l'expérience, d'effet atteignant 10^{-16} ampère par centimètre carré,

à condition qu'on s'interdise d'amplifier les phénomènes au moyen de l'ionisation par choc.

Dans ce genre d'expériences, comme dans celui relatif aux émissions de charges par les sels, l'instabilité des appareils, les variations de tension des accumulateurs font que, lorsque l'électromètre est isolé, le spot n'est jamais complètement immobile. L'électromètre a un volume de l'ordre du litre, l'ionisation spontanée dans un tel volume n'est pas une quantité négligeable, elle aura pour cause d'amener des charges sur les quadrants isolés : c'est pour ces différentes raisons, et non à cause d'une insuffisance de sensibilité au volt qu'une limite intervient dans la mesure de trop petits courants. Malgré ces différentes perturbations quand la paire de quadrants était isolée et reliée aux coefficients d'influence, son mouvement ne dépassait pas 1^{cm} à l'heure : cela suffit à interdire de tirer des conclusions certaines, quand on mesure des courants qui ne donnent que des déplacements du même ordre et empêche de déduire des mesures autre chose qu'une limite supérieure du phénomène.

Deuxième dispositif. — On peut espérer aller plus loin en employant le dispositif de J.-J. Thomson. L'électroscope à feuille d'or ordinaire n'est pas sensible au volt, mais il compense cet inconvénient par une faible capacité et la possibilité de laisser les rayons agir pendant des heures. Enfin, il est moins sujet à des perturbations que l'électromètre.

Dans cet ordre d'idées, j'ai monté un appareil (*fig. 21*) analogue à celui de J.-J. Thomson, et n'en différant que par l'addition d'une toile de laiton destinée à préciser l'état électrique à l'intérieur du tube. J'ai pris l'alliage liquide NaK, parce qu'en raison de sa fluidité on peut espérer avoir une surface mieux définie : si la surface contient des impuretés, on peut espérer faire varier leur effet

par agitation. L'intérieur de la cellule contient beaucoup d'organes métalliques, et l'on peut difficilement le nettoyer de son humidité et de ses gaz occlus aussi bien que

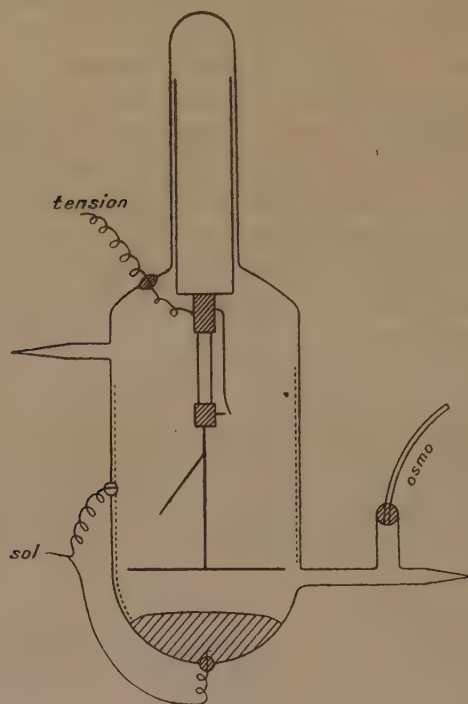


Fig. 21.

dans les cellules précédentes, de fait la surface obtenue était moins nette. De plus, la nécessité d'envoyer de la lumière pour faire les lectures paraît un inconvénient assez grave : cependant on peut se rendre compte, en mesurant l'effet de la lumière rouge pendant quelque temps, que le fait de l'allumer quelques secondes pour les mesures ne doit pas donner une correction appréciable. Sur un des côtés de l'appareil était soudé un osmo-régulateur Villard permettant d'introduire de l'hydrogène. La dé-

charge, lorsque l'électroscope est chargé positivement, est faible et n'atteint qu'une fraction de division en 5 heures. Au contraire, quand la charge est positive, on peut noter un abaissement de la feuille de trois divisions en 2 heures. Cette chute s'est montrée assez constante pendant 2 jours, puis elle a diminué lentement. Au bout de 4 jours, elle n'était plus que de moitié. L'introduction d'hydrogène, comme dans l'expérience de J.-J. Thomson, la régénère partiellement et double environ la valeur du courant. Ce dernier n'est plus appréciable en présence du champ magnétique d'un aimant.

De ce qui précède il résulte que l'effet existe, mais qu'il est fort petit, à l'extrême sensibilité de ce qu'on peut espérer percevoir.

On peut se demander comment l'hydrogène peut agir pour modifier la valeur du courant; il intervient peut-être en réagissant sur la surface. Dans ce cas, il est difficile d'affirmer que l'effet lui-même n'est pas dû à de petites traces d'hydrogène existant dans l'appareil au moment de sa fermeture, et dont il est difficile de le purger en raison même de sa construction. Le fait que le courant diminue avec le temps (Muller a également noté une telle diminution), probablement sous l'influence d'une altération croissante de la surface, indiquerait qu'il s'agit d'un effet superficiel, sans pénétration. Ceci complique beaucoup la question; les effets de surface ont toujours dérouté les physiciens et nous attendons depuis plus d'un demi-siècle pour savoir si l'effet Volta, qui est un effet de surface, doit être représenté par 1 ou par $\frac{1}{100}$.

Ceci est peu encourageant pour assigner au phénomène qui nous occupe un ordre de grandeur, les mesures qui pourront en être faites dépendront de l'état de la surface, et l'on peut s'attendre, par suite de cette circonstance, à des estimations assez variables. Néanmoins, étant donné que j'ai opéré sur un nombre de cellules assez grand (trois

pour le potassium, deux pour le rubidium, deux pour l'alliage NaK), et en raison de la netteté apparente de ces surfaces, on peut admettre que, tout en considérant comme bien établie l'existence du phénomène de J.-J. Thomson, les évaluations qui ont été données précédemment sur son intensité sont d'un ordre de grandeur trop élevé. Nous reviendrons sur l'interprétation de ces résultats en les comparant avec ceux que nous fournira l'émission des sels.

ÉMISSION DES CHARGES PAR LES SELS.

Sur la radioactivité communiquée à certains sels par les rayons cathodiques.

Sous ce titre, Mc Lennan ⁽¹⁾ a publié les résultats qu'il a obtenus en exposant des sels de potassium à l'action des rayons cathodiques ou de l'étincelle. Ces sels étaient portés dans une chambre d'ionisation contenant un électroscope à feuille d'or, et vidée à 15^{mm} de mercure, ils y provoquaient une décharge de la feuille lorsque celle-ci est chargée positivement. L'auteur en concluait que sous l'action de ces rayonnements, le potassium avait acquis une radioactivité temporaire qui se manifeste par l'émission de charges négatives.

Cette question se rattachant d'assez près à l'ensemble de ce travail, j'ai tenu à répéter les expériences et je suis arrivé aux conclusions qui vont suivre.

Les sels étaient soumis à l'étincelle d'une forte bobine d'induction, et introduits dans une petite chambre d'ionisation, en relation avec un électroscope Wilson. Lorsqu'on fait un tel essai avec les sels de potassium, on constate des effets d'une intensité considérable, tout se passe comme s'ils avaient acquis une radioactivité très intense,

(¹) MC LENNAN, *Phil. Mag.*, t. III, 1902, p. 195.

diminuant lentement avec le temps. Le phénomène est très facile à mettre en évidence et très curieux à première vue. J'ai fait cependant les observations suivantes :

1° Tous les sels et oxydes, et non seulement ceux de potassium présentent le phénomène à des degrés divers ; avec certains sels et en particulier ceux de potassium, il acquiert une grande intensité ;

2° L'émission est incapable de traverser la plus mince feuille d'aluminium ou même une toile métallique à mailles assez larges ;

3° Il n'est pas entraîné par un courant d'air même violent, comme les ions produits par un corps radioactif ;

4° On pouvait penser que le sel avait subi une réduction partielle et qu'il était devenu photo-électrique ; il n'en est rien et la lumière n'intervient pas dans le phénomène ;

5° Il ne se produit pas avec des sels très humides ;

6° Le courant n'est pas susceptible de saturation, il ne diminue pas suivant une loi exponentielle avec le temps et la vitesse avec laquelle il diminue dépend du champ qu'on établit dans la chambre d'ionisation ;

7° On peut obtenir des phénomènes d'un caractère identique en prenant une plaque de verre qu'on frotte de manière à l'électrifier, et qu'on introduit dans la chambre d'ionisation.

Pour ces différentes raisons, je pense qu'il n'y a pas réellement émission de charges négatives, mais que l'effet du rayonnement de l'étincelle a été de communiquer une forte charge aux sels étudiés. Lorsqu'ils sont introduits ils se déchargent en donnant un phénomène d'influence sur la tige collectrice des ions. Si le sel est bon conducteur, il sera déchargé presque aussitôt, avant qu'on n'ait pu faire de lectures, et l'on n'obtiendra qu'un effet très faible ; s'il est très mauvais conducteur, on n'observera également qu'un effet très petit, la décharge se produisant très lentement. Il arrivera, ce qui est l'effet d'un

hasard, qu'une conductibilité moyenne se rencontrera avec les sels de potassium, calcium, etc., et l'on observera des courants plus intenses que dans les deux précédents cas.

J'ai même trouvé, à un moment où ces phénomènes ne m'étaient pas connus, un échantillon de chlorure de potassium provenant de fractionnements, légèrement teinté par des impuretés et qui donnait, quand on l'effleurait avec le doigt ou avec une baguette de verre, des effets considérables qui m'avaient paru tout d'abord difficiles à interpréter et qui s'expliquent facilement par ce qui précède.

M. Mc Lennan constatait le phénomène en chauffant les sels. J'ai constaté qu'il se produit aussi à froid et je l'ai étudié dans ces conditions. Il est plus intense vers 100° , et ceci s'explique par une augmentation de conductibilité du sel.

Émission spontanée de charges par les sels de potassium et de rubidium. — Les rayons β ont une charge négative, d'autre part la radioactivité s'accompagne souvent d'une émission d'électrons lents. Il était donc important de voir s'il est possible de constater avec les sels de potassium et de rubidium une émission d'électricité négative.

J'ai obtenu un résultat positif par un dispositif que je décrirai plus loin.

On peut citer sur cette question un Mémoire de Mc Lennan ⁽¹⁾. L'auteur place, dans un vide élevé, un ou plusieurs plateaux isolés portant un sel de potassium, en face d'un autre plateau métallique. Il a constaté un courant, donnant à l'électromètre, sous l'influence de la seule force électromotrice de Volta, une émission de charges négatives.

(¹) MC LENNAN, *Phys. Review*, t. XXIX, 1909, p. 489.

tives. Nous aurons à revenir plus loin sur ces expériences. J'ai mis en œuvre deux dispositifs :

Premier dispositif. — Le premier dispositif était destiné à mettre en évidence l'existence même d'une émission de charges négatives. Comme on pouvait s'attendre à ce que l'effet fût très faible, il m'a semblé préférable d'employer d'abord un électroscope à feuille d'or, plus indiqué dans l'étude des courants extrêmement petits. Ce dispositif a toutefois l'inconvénient que les champs sont trop faibles pour assurer la saturation.

Pour augmenter l'intensité des effets, j'ai pris une surface de sel assez importante (voir *fig. 22*) répartie sur un

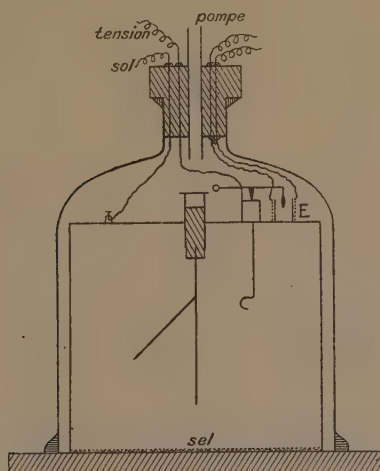


Fig. 22.

plateau circulaire de 25^{cm} de diamètre. Ce plateau constitue le fond d'une chambre d'ionisation cylindrique de 19^{cm} de haut, dont la partie supérieure supporte l'électroscope à feuille d'or, et dont la paroi est percée de deux fenêtres, munies de toiles métalliques pour l'observation de la feuille. Le tout est placé sous une cloche à vide mas-

liquée sur un bloc de verre. Un petit électro creux E est placé à la partie supérieure; quand le courant le traverse, il aspire une petite pièce de fer, ce qui a pour effet de faire basculer un petit équipage isolé et porté par deux pointes d'aiguille. Dans ce mouvement, un fil qui prolonge l'équipage vers le bas vient toucher l'électroscope, et il le charge, étant relié à une batterie d'accumulateurs. Les fils de connexions et le tube de verre en relation avec la pompe traversent un bouchon d'ébonite qui ferme le goulot de la cloche, et qui est mastiqué sur celle-ci. Les lectures sont faites au microscope.

La surface occupée par le sel est de $490^{\text{cm}},7$. L'appareil est suffisamment étanche pour que, la trompe fonctionnant constamment, on puisse maintenir un vide de $\frac{4}{1000}$ de millimètre, mesuré à la jauge.

Les mesures ont porté sur les sulfates de potassium, de rubidium et de cæsium. Comme on ne peut pas replacer, à chaque mesure, l'appareil dans les mêmes conditions et que les lectures faites au microscope ne correspondent pas à la même région de la feuille, elles ne sont pas comparables entre elles. Pour les rendre comparables, à la fin de chaque mesure, j'effectuais une rentrée d'air et je mesurais le courant d'ionisation produit :

- 1^o Sous l'influence du sel alcalin seul;
- 2^o Sous l'influence d'un échantillon de radium peu actif placé à $37^{\text{cm}},5$ et qui agissait par ses rayons γ à travers le verre de la cloche.

La différence entre le second et le premier de ces deux courants donnait l'ionisation produite par les rayons γ du radium seul, et comme on pouvait admettre que cette ionisation était la même dans les trois cas, la valeur trouvée permettait de rendre comparables les indications lues au microscope.

On ne peut espérer, dans un tel appareil, mesurer la totalité de l'émission. Si les rayons sont très rapides, le champ

qui règne à l'intérieur de l'appareil sera insuffisant pour les dévier tous et les amener sur l'électroscope, on n'en recueillera qu'une faible partie. S'ils sont très lents, ils reviendront d'eux-mêmes en grande partie sur la surface du sel, parce que le champ qui existe au voisinage de cette surface sera trop petit pour qu'on puisse les recueillir tous. On mesurera donc seulement une limite inférieure du courant.

On pourrait espérer remédier à cet inconvénient en disposant, à la partie inférieure de l'électroscope, un plateau horizontal placé parallèlement à la surface rayonnante, et qui aurait plus de chance de recueillir un grand nombre de charges. Un tel dispositif augmente par contre, comme je m'en suis assuré, la capacité dans de telles proportions que la méthode électroscopique perd tout son avantage et qu'il devient préférable d'avoir recours à un appareil très sensible au volt, c'est-à-dire à un électromètre.

Le résultat que j'ai obtenu est le suivant : lorsque l'électroscope est chargé positivement, il se décharge en présence des sels de potassium et de rubidium. Cette décharge est nulle ou très douteuse avec les sels de cæsium.

La déperdition n'est pas rigoureusement nulle quand l'électroscope est porté à un potentiel négatif, ceci vient probablement de ce que, malgré tout, l'ambre n'est pas un isolant absolument parfait. On trouvait par exemple, pour le rubidium, que dans le même temps la déperdition positive pouvait être représentée par 4,0 tandis que la déperdition négative est de 0,06 seulement.

Rapportée à des valeurs comparables, les nombres exprimant les courants sont les suivants :

$\text{SO}^+ \text{K}^2$	0,65
$\text{SO}^+ \text{Rb}^2$	3,1
$\text{SO}^+ \text{Cs}^2$	0,03

On peut avoir une évaluation approchée de la valeur absolue. Une fois la rentrée d'air faite, je notais les observations suivantes :

Courant dû au rubidium seul : 6 divisions en	146
On met l'échantillon de radium à 37 ^{cm} ,5 : 6 divisions en ..	62
Courant dû au rubidium : 6 divisions en	144
Avec le radium : 6 divisions en	63

Or, le courant dû au rubidium doit être saturé. Il donne donc une déviation de 6 divisions en 145^s en moyenne. Sa valeur absolue peut être calculée approximativement, étant données la surface et la hauteur de la boîte. Je trouvais que ce courant est $1,431 \cdot 10^{-13}$ ampère. Partant de ce nombre, on peut estimer que la limite supérieure de l'émission de charges par le rubidium serait

$$0,4 \cdot 10^{-15}.$$

Rapporté au centimètre carré, cette émission donnerait $0,85 \cdot 10^{-18}$ pour SO^4Rb^2 , et pour SO^4K^2 , $0,17 \cdot 10^{-18}$.

Il ne s'agit naturellement que d'une évaluation assez grossière et d'une limite inférieure.

Deuxième dispositif. — Dans le but de me faire une idée plus exacte sur la grandeur du phénomène, j'ai employé un autre appareil (voir *fig. 23*) dans lequel les charges émises pourraient être mieux utilisées. Le sel est placé sur un plateau de laiton circulaire isolé par de petites cales en ébonite, l'organe récepteur des charges est un autre plateau de laiton, parallèle à celui-ci et isolé au moyen de trois cales en ambre. L'ensemble est recouvert par une boîte au sol, et le plateau collecteur des charges est relié au moyen d'un petit ressort à une tige qui traverse le goulot de la cloche en verre, et qui est isolé de celle-ci par un bouchon d'ambre et un anneau de garde. La cloche a été rodée avec soin par M. Werlein et tient parfaitement le vide. La connexion au sol et à la

tension est assurée par deux petites tiges qui traversent la plaque de verre supportant la cloche. Le vide était commencé à la trompe à eau, puis poussé aussi loin que

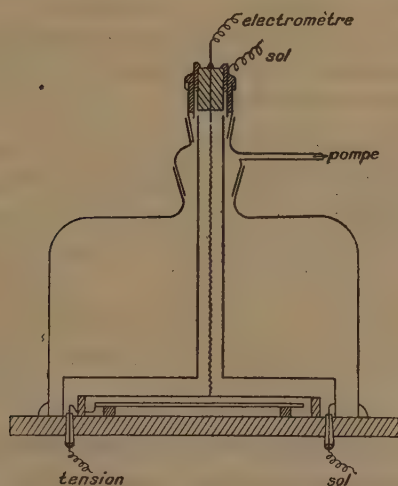


Fig. 23.

possible à la pompe Moulin et terminé à la trompe à mercure.

Dans les expériences de ce genre, une difficulté se présente : la couche de sel, épaisse de 2 mm étant placée dans le vide sec, est assez isolante. Lorsqu'on établira la tension, tout se passera comme si l'on avait un condensateur à lame d'air et à lame de sel ayant respectivement 8 mm et 2 mm environ ; ensuite, comme le sel n'est pas parfaitement isolant il sera le siège d'un courant et, au bout de quelque temps, on n'aura plus qu'un condensateur de 8 mm à lame d'air.

Tout se passera comme si l'épaisseur du condensateur avait diminué de l'épaisseur du sel, ce qui aura pour effet de produire, tant que l'équilibre ne sera pas établi, un appel d'électricité par influence sur le plateau relié à

l'électromètre. Pour éviter cet inconvénient le plateau qui porte la substance est muni d'un petit rebord sur lequel je tendais des fils fins de façon à faire une toile métallique à mailles assez larges, posées juste sur la surface du sel. Ceci supprime les inconvénients précédents. La mesure absolue des courants était obtenue au moyen d'un coefficient d'influence de valeur connue. Le champ est d'environ 120 volts par centimètre. En raison de la forte capacité des appareils, l'électromètre est médiocrement sensible à la charge. Un déplacement du spot de 1^{mm} par seconde correspond à $4,19 \cdot 10^{-13}$ ampère. Étant donnés les nombres fournis par le dispositif précédent, j'espérais, les charges étant mieux recueillies, obtenir des courants assez notables. Ceci ne se produit pas, je n'ai rien pu trouver de net pour le potassium et le cæsium, pour le rubidium un très petit courant qui est à l'extrême limite de la sensibilité de l'électromètre.

Je m'assurais chaque fois de la correction du montage en effectuant, après chaque mesure, des rentrées d'air et en mesurant le petit courant d'ionisation dû au rayonnement. L'isolement était vérifié en chargeant la partie isolée dans l'un et l'autre sens.

Pour le rubidium, j'ai obtenu un courant assez constant, mais juste mesurable de $1,86 \cdot 10^{-15}$ ampère qui correspond à un courant de l'ordre du centimètre à l'heure.

Pour le potassium et le cæsium, on tombait au-dessous de cette limite, et le courant ne dépasse vraisemblablement pas $0,5 \cdot 10^{-15}$ ampère, ceci pour des surfaces de 314^{cm²}.

Une limite supérieure de l'émission serait donc de $5,92 \cdot 10^{-18}$ ampère par centimètre carré pour le sulfate de potassium et de cæsium. Le courant est vraisemblablement compris entre ces nombres et ceux obtenus plus haut : 10^{-18} ampère par centimètre carré pour le rubidium et 10^{-19} pour le potassium. Il s'agit donc d'un phé-

nomène extrêmement faible, qui correspond à peine à l'émission de quelques électrons par seconde et par unité de surface.

M. Mc Lennan aurait mis en évidence une telle émission de charges avec les sels de potassium, mais dans quelques cas, la déviation du spot n'est que de 20^{mm} en 9 heures. Je n'ai pas cru pouvoir pousser aussi loin la confiance dans les mesures électrométriques et faire état de résultats aussi faibles. Je doute qu'on puisse accorder une grande confiance aux nombres obtenus dans ces conditions, et je me contente de considérer des résultats de cet ordre comme une limite supérieure et non comme une évaluation.

Les courants mesurés avec les métaux semblent être du même ordre. Les surfaces sont plus petites, mais l'émission est mieux utilisée.

De tout ce qui précède je crois qu'on peut considérer comme établie l'existence d'une émission extrêmement faible de charges par les métaux alcalins et leurs sels. Le courant d'ionisation fourni par centimètre carré de surface par le sulfate de rubidium est $3,64 \cdot 10^{-16}$ ampère, l'émission de charges dans le vide serait de 10^{-18} ampère. Ces charges sont-elles les rayons β ou vient-il s'y ajouter des rayons lents, je ne pense pas qu'il soit possible de répondre nettement à cette question.

Si les charges émises dans le vide étaient intenses, comme le donnaient à penser certains travaux, la question eût été tranchée, on devrait admettre l'existence de rayons β lents. C'est pour cela que j'ai tenu à préciser l'ordre de grandeur des phénomènes.

Le courant d'ionisation serait environ 500 ou 1000 fois plus fort que les charges émises; ce qui ferait 10^3 ions pour une charge environ, ceci est compatible avec le fait que ces charges sont les rayons β , et je ne crois pas qu'il soit nécessaire d'admettre l'existence de rayons lents.

RÉSUMÉ.

Les résultats exposés dans ce travail amènent aux conclusions suivantes :

1^o Deux éléments, le potassium et le rubidium, se distinguent nettement, par un rayonnement analogue à celui des corps radioactifs, des substances communes dont l'activité est douteuse;

2^o Le potassium possède un rayonnement β approximativement homogène et facilement déviable, d'une pénétration voisine des rayons β de l'uranium. Ce rayonnement est une propriété normale, atomique et spontanée;

3^o Le rubidium émet également des rayons β plus lents, assez homogènes, possédant une absorption du même ordre que les rayons β du radium. Ce rayonnement se présente avec les mêmes caractères généraux que le précédent;

4^o Le potassium, le rubidium et leurs sels émettent, spontanément dans le vide, des charges dont une notable partie au moins doit être attribuée aux rayons β ionisants. L'existence d'une émission de charges lentes n'a pu être mise en évidence.

Vu et approuvé :

Paris, le 7 décembre 1911.

LE DOYEN DE LA FACULTÉ DES SCIENCES,
PAUL APPELL.

Vu et permis d'imprimer :

Paris, le 7 décembre 1911.

LE VICE-RECTEUR DE L'ACADÉMIE DE PARIS,
L. LIARD.



SECONDE THÈSE.

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Hypothèse thermodynamique de Nernst.

Vu et approuvé :

Paris, le 7 décembre 1911.

LE DOYEN DE LA FACULTÉ DES SCIENCES,

PAUL APPELL.

Vu et permis d'imprimer :

Paris, le 7 décembre 1911.

LE VICE-RECTEUR DE L'ACADÉMIE DE PARIS,

L. LIARD.

